

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

# **Problematika duplexních antén**

Duplex Antennas Problems

## Zadání bakalářské práce

Student: **Dalibor Dziwisz**

Studijní program: **B2647 Informační a komunikační technologie**

Studijní obor: **2601R013 Telekomunikační technika**

Téma: **Problematika duplexních antén.  
Duplex Antennas Problems.**

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši literatury z oblasti antén pro WiFi spoje.
2. Vysvětlete pojem duplexní anténa a definujte parametry, podstatné pro posuzování tohoto typu antén.
3. Popište měření základních parametrů antén pro WiFi techniku.
4. Seznamte se s měřicími přístroji Katedry elektrotechniky, používanými při měření antén.
5. Proveďte měření podstatných parametrů duplexních antén, které jsou k dispozici v laboratoři Katedry elektrotechniky.
6. Srovnajte změřené výsledky a posuďte jejich vliv na praktické použití jednotlivých antén.

### Seznam doporučené odborné literatury:

Procházka, M.: Antény, encyklopedická příručka, BEN Praha, 2000, ISBN 80-86056-59-7.  
Procházka, M.: Antény, encyklopedická příručka, BEN Praha, 2005, ISBN 80-7300-166-7.  
Matuszyk, J.: Antény prakticky, BEN Praha, 2003, ISBN 80-7300-109-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Lubomír Ivánek, CSc.**

Datum zadání: **18.11.2011**

Datum odevzdání: **04.05.2012**

  
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 4. května 2012

  
.....

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu Doc. Ing. Lubomíru Ivánkovi, Csc. za odbornou pomoc a poskytnutí materiálů k dané problematice a panu Ing. Petru Orságovi, Ph.D. za pomoc při seznámení s měřicím přístrojem ESPI 7.

## **Abstrakt**

Tato práce pojednává o problematice v oblasti WiFi antén. Jsou v ní shrnuty důležité parametry a vlastnosti duplexních antén, stejně jako popis funkce těchto antén.

Ve druhé části mé práce se zaměřuji na měření dvou důležitých parametrů a jejich případném porovnávání s teoretickým základem. Těmito parametry jsou parametry impedanční a hodnota propustnosti mezi dvěma komponenty jedné antény.

Samozřejmě čtenáře seznamuji s použitými měřicími přístroji a několika měřeními anténami.

V závěru pak, mimo jiné, nastiňuji další možnosti práce s duplexní anténou.

**Klíčová slova:** duplexní anténa, WiFi anténa, dvoupolarizační anténa, měření impedančních parametrů, propustnost mezi komponenty duplexní antény, měřicí přístroj ESPI, DMU – měřič výkonu a útlumu odrazu

## **Abstract**

This thesis deals about issues of WiFi antennas. There are important attributes and parameters of duplex antennas and their description of functionality.

In second part of my thesis I focused on measurement of two important parameters and so with compare it with theoretical basis. These parameters are impedance and values of throughput between two components of the antenna.

Naturally, I inform you about measurement equipment and with other measured antennas.

Among others in conclusion of my thesis I am going to describe next possibility of other work with duplex antenna.

**Key Words:** duplex antenna, WiFi antenna, dual-polarized antenna, measurement of impedance parameter, throughput between components of duplex antenna, ESPI Test receiver, DMU – power and return loss monitor

## Seznam použitých zkratk a symbolů

AES	–	Advanced encryption standard
AP	–	Access point
ČZP	–	Činitel zpětného příjmu
ČZZ	–	Činitel zpětného záření
EMC	–	Electromagnetic compatibility
EMI	–	Electromagnetic Interference
FDD	–	Frequency division duplex
GPS	–	Global Positioning System
GSM	–	Global System for Mobile Communications
IEEE	–	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	–	Internet protocol
MIMO	–	Multiple in multiple out
PSK	–	Pre-shared key
RL	–	Return loss
SSID	–	Service Set Identifier
SWR	–	Standing wave ratio
TDD	–	Time division duplex
WDA2	–	WiFi protected access 2
WiFi	–	Wireless fidelity

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Popis a funkce duplexních antén .....</b>	<b>2</b>
2.1 Charakteristika antény a duplexní antény .....	2
2.1.1 Anténa .....	2
2.1.2 Duplexní anténa.....	2
2.1.3 Princip duplexní antény .....	3
2.1.4 Použití ve WiFi technice .....	4
2.1.5 Časový a frekvenční duplex .....	5
2.2 Základní druhy duplexních antén.....	6
2.3 Vlastnosti antén.....	8
2.3.1 Vyzařovací a směrová charakteristika .....	8
2.3.2 Polarizační vlastnosti duplexních antén.....	12
2.3.3 Vstupní impedance a její přizpůsobení .....	13
<b>3. Měření parametrů duplexních antén.....</b>	<b>18</b>
3.1 Seznámení s měřicími přístroji a měřenými anténami .....	18
3.2 Měření impedančních parametrů antény pomocí DMU .....	21
3.3 Měření propustnosti mezi dvěma komponenty jedné antény.....	25
3.4 Návrh realizace dalšího měření .....	29
<b>4. Závěr .....</b>	<b>30</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>32</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>35</b>

# 1. Úvod

Pojem anténa byl poprvé použit italským fyzikem a vynálezcem Guglielmem Marconim v roce 1909. Avšak již v roce 1886 nechal při svých pokusech vzlétnout na oblohu draka a vznikla tak první drátová anténa. Využil při tom znalosti elektromagnetismu, které vytyčili například pánové Hertz, Faraday či Maxwell. Od té doby urazily antény dlouhou cestu napříč vlastním vývojem až do dnešní uspěchané doby, kde se v tomto odvětví kladou nároky na mobilitu, kvalitu, rychlost přenosu a při tom všem dobrou cenu výrobku.

A právě to jsou hlavní výhody každé anténní technologie, která nese přívlastek: duplexní.

Tato, stále více používaná, metoda plného duplexu nachází uplatnění v telekomunikaci nového tisíciletí a to hlavně ve WiFi technice, kde jsou její výhody zapotřebí, dnes už hlavně pro masy domácích spotřebitelů, ale nejen pro ně. Proto je potřeba prohlubovat znalosti této problematiky a snažit se dále ji vyvíjet a optimalizovat.

Ve své práci se zabývám jak částí teoretickou, ve které popisuji vlastnosti antén a duplexního přenosu, tak částí praktickou, v níž popisuji postup měření antén a naměřené hodnoty, které mezi sebou porovnávám.

Při teoretické části jsem nejčastěji využíval obecné knihy o anténách, jelikož parametry duplexních antén se od jiných častokrát neliší. Na literaturu zaměřenou čistě na dvoupolarizační antény jsem nenarazil. Pro pomoc s praktickým měřením jsem využíval hlavně datasheety a manuály jednotlivých antén a měřicích přístrojů.



## 2. Popis a funkce duplexních antén

### 2.1 Charakteristika antény a duplexní antény

Pro začátek je dobré, udělat si jasno v pojmech. Následující podkapitola se věnuje anténě, jako prvku v radiokomunikačním řetězci, poté se přesunu k samotné duplexní anténě, její krátké charakteristice a jejímu použití ve WiFi technice. Také zde okrajově zmíním duplexní přenos v rovině přenosu dat.

#### 2.1.1 Anténa

Anténa je zařízení pro vyzařování nebo příjem radiových vln. Jejím úkolem je tedy zajišťovat změnu šíření magnetické vlny, proto se často značí jako přechodový prvek v radiokomunikaci. Jedná se o přechod mezi vlnou, šířící se podél **napáječe (napájecího vedení)**<sup>1</sup> na vlnu, šířící se v obecném (volném) prostoru nebo naopak. To záleží na směru přenosu energie. Při směru od antény je chápána jako vysílací, při směru přenosu k anténě se stává přijímací.

Parametry antén se dělí na dvě základní skupiny. První skupinou parametrů je popis chování antény v okolním prostředí, jako je směrovost, polarizace, směrová a vyzařovací charakteristika a podobné. Do druhé skupiny se řadí parametry, které jsou měřeny přímo na anténě. Do tohoto bloku spadají impedanční vlastnosti antény.

Anténa je důležitý prvek radiokomunikačního řetězce a velmi jeho kvalitu ovlivňuje svými parametry. Důležité je také vědět, že mnoho vlastností je společných jak pro vysílací, tak pro přijímací antény. To je dáno principy duality a reciprocity. Například pokud má anténa danou šířku svazku při přijímací charakteristice, znamená to, že stejnou šířku bude mít i při charakteristice vyzařovací.<sup>2</sup>

#### 2.1.2 Duplexní anténa

Duplexní anténa je speciální druh antény, která je díky svým vlastnostem využívána, mimo jiné, i pro duplexní přenos resp. komunikaci. Jedná se o přenos resp. komunikaci, kdy se vysílá i přijímá současně. Často se nyní používá v odvětví WiFi („*Označení pro několik standardů IEEE 802.11 popisujících bezdrátovou komunikaci v počítačových sítích.*“)<sup>3</sup>. Jako každá anténa, i

---

<sup>1</sup> Napáječ si můžeme představit jako koaxiální, či jiné vedení.

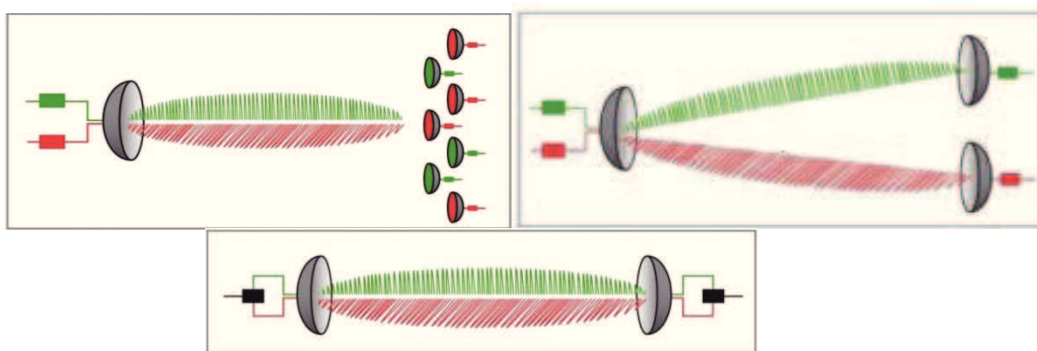
<sup>2</sup> Radiolokatory.cz [online]. 2009-05-10 [cit. 2011-10-30]. Dostupné z WWW: <http://www.radiolokatory.cz/teorie/anteny.html>; MAZÁNEK, Miloš, Pavel PECHAČ a Jan VRBA. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky*, s. 6-7.

<sup>3</sup> Wi-Fi. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

duplexní anténa má své specifické parametry a vlastnosti. Abychom poznali funkce duplexní antény je zapotřebí tyto parametry znát.

Pro realizaci duplexních antén se používá nejčastěji funkce dvojí polarizace. Proto se jim také častěji říká dvoupolarizační. V pouzdře antény se nacházejí dvě (či např. čtyři) antény (resp. dipóly), místo klasické jedné, přičemž jedna anténa má nastavenou polarizaci horizontální a druhá vertikální. Výhoda takové antény je pak například v ceně. Jedna duplexní anténa je často levnější než dvě antény s různou polarizací. Také cena stožáru se nemusí násobit dvakrát a díky tomu, že zabírá méně prostoru na stožáru, může být levnější i pronajímání prostoru pro stožáry, protože jich není potřeba tolik a nemusí být, vzhledem k menšímu odporu větru, tak masivní. Kromě cenových výhod mají duplexní antény, co se týče směrovosti, velký předozadní poměr. V neposlední řadě je pak výhodou lehčí údržba. Nevýhodou by mohl být nárok na kvalitu izolace mezi oběma anténami.

Dvoupolarizační anténa se dá využít ve více „režimech“ (Obr. 2.1.1) než je režim duplexního spoje (jedna polarizace pro příjem/druhá pro vysílání). Můžeme ji například použít jako dva samostatné směrové spoje, nebo anténu vyzařující do určitého směru s dvojnásobným počtem klientů.<sup>4</sup>



Obr. 2.1.1 Režimy duplexní antény a) Dvojnásobný počet klientů, b) Dva směrové spoje. c) duplexní spoj<sup>5</sup>

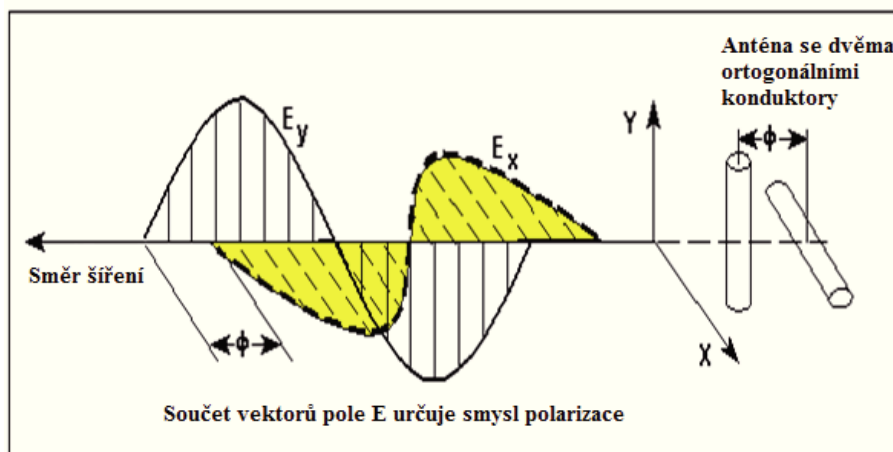
### 2.1.3 Princip duplexní antény

Celý princip závisí na polarizaci elektromagnetických vln. Tyto vlny se skládají, jak je z názvu patrné, ze dvou složek. Ty jsou kolmé nejen k sobě navzájem, ale také ke směru šíření vlny a nazývají se: elektrická složka  $E$  a magnetická složka  $H$  (Obr. 2.1.2).

<sup>4</sup> Parabolická anténa JRC-24 DuplEX. In: JIRUS, Jan. *WiFi antény* [online]. 12. 01. 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://cz.jirous.com/anteny-5ghz/jrc-24-duplex>

<sup>5</sup> Tamtéž

Pod pojmem vertikální polarizace si můžeme představit elektrické pole, jež je vertikálně orientováno. Při horizontální polarizaci je tedy elektrické pole orientováno horizontálně. Duálně polarizovaná anténa využívá dvě ortogonálně polarizované vlny.<sup>6</sup> Více o polarizaci si řekneme v kapitole 2.3.2.



Obr. 2.1.2. Princip duplexní antény<sup>7</sup>

## 2.1.4 Použití ve WiFi technice

V předchozí podkapitole jsem se zmínil o využití antény ve WiFi (Wireless Fidelity – bezdrátová věrnost) technice, což je řada standardů organizace IEEE. WiFi je bezdrátová síť a používá se tam, kde není možno, nebo není zapotřebí používat klasickou ethernetovou kroucenou dvojlinku. Hlavními výhodami WiFi techniky jsou mobilita, vysoká flexibilita a rozhodně úspora peněz, které by se spotřebovaly na instalaci kabeláže. Jako nevýhody shledávám občasnou špatnou kvalitu přenosu v bezlicenčním pásmu. To je způsobeno rušením jednotlivých sítí vzájemně. Další nevýhoda je pak ve vyšší náročnosti na bezpečnost.<sup>8</sup>

Pro uspořádání je ve spodní tabulce přehled starších i současných Wifi standardů (tab. 2.1.3). Novější verze standardů již počítají s využitím systému MIMO pro usazení více antén v jednom pouzdře a tím navýšení rychlosti.

<sup>6</sup> SKAUFEL, Daniel. *Dual polarized Omnidirectional Antenna* [online]. Stockholm, Sweden : School of Electrical Engineering, 2005. 44 s. Diplomová práce. KTH School of Electrical Engineering. Dostupné z WWW: <https://eeweb01.ee.kth.se/upload/publications/reports/2005/IR-S3-EX-0523.pdf> ; MĚŘENÍ POTLAČENÍ SIGNÁLU PŘI OPAČNĚ POLARIZACI V DUPLEXNÍ ANTÉNĚ. In: *Katedra elektrotechniky - 420* [online]. 1. 2. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/fei/sireni\\_vln/mereni/mereni\\_potlacení\\_signalu\\_při\\_opacne\\_polarizaci.pdf](http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/fei/sireni_vln/mereni/mereni_potlacení_signalu_při_opacne_polarizaci.pdf)

<sup>7</sup> Tamtéž

<sup>8</sup> RUKOVANSKÝ, Imrich a Oldřich KRATOCHVÍL. *Bezdrátové počítačové sítě*, s. 9

Verze protokolu	Frekvence [Ghz]	Šířka pásma[Mhz]	Maximální rychlost[Mbit/s]	Maximální počet MIMO	Použitá modulace	Rok uvedení
-	2.4	20	2	1	DSSS, FHSS	1997
A	5	20	54	1	OFDM	1999
B	2.4	20	11	1	DSSS	1999
G	2.4	20	54	1	DSSS, OFDM	2003
N	2.4/5	20/40	72.2/150	4	OFDM	2009
Ac	5.1	80/160	867/ 6.93Gbit/s	8	OFDM	2011

Tab. 2.1.3 WiFi standardy<sup>9</sup>

První řešení normy z roku 1997 pracovalo na volném kmitočtovém pásmu 2,4 GHz, které je využíváno pro bezdrátové telefony, Bluetooth nebo třeba i mikrovlnné trouby.

Norma 802.11b byla nasazena kvůli vyšší přenosové rychlosti, díky novému způsobu kódování. Síť dosahuje vzdálenosti 100 m.

Norma 802.11a byla vymyšlena ve stejném roce jako její předchůdce, ale přesto se na ní začalo pracovat již dříve. Z tabulky lze vidět, že **teoretická rychlost se výrazně navýšila**<sup>10</sup> a frekvence se posunula do licenčního pásma, díky čemuž lze využít více kanálů bez vzájemného rušení.

IEEE 802.11g je „jen“ rychlejší WiFi pracující v bezlicenčním pásmu. S vysokými rychlostmi dosah WiFi klesá až k hranici 30 metrů. Síť je kompatibilní s 802.11b.<sup>11</sup>

IEEE 802.11n už spoléhá na zvýšení propustnosti dat díky práci s úpravou fyzické vrstvy a MAC podvrstvy. Díky tomu se opět navyšuje přenosová rychlost. Zde je právě jednou z možností navyšování rychlosti technologie Multiple in Multiple out. V pouzdře jsou uloženy např. 2, nebo 4 antény na příjem a stejný počet je připraven na vysílání.<sup>12</sup>

## 2.1.5 Časový a frekvenční duplex

Pokud mluvíme o duplexních anténách, měli bychom se také okrajově zaměřit na samotný princip duplexního přenosu dat, využívaného také ve WiFi. Jak již víme z předchozí kapitoly, je

<sup>9</sup> IEEE 802.11. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11#endnote\\_80211ns\\_sgiB1](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#endnote_80211ns_sgiB1)

<sup>10</sup> Rychlost v praxi se pohybuje kolem 35 Mb/s

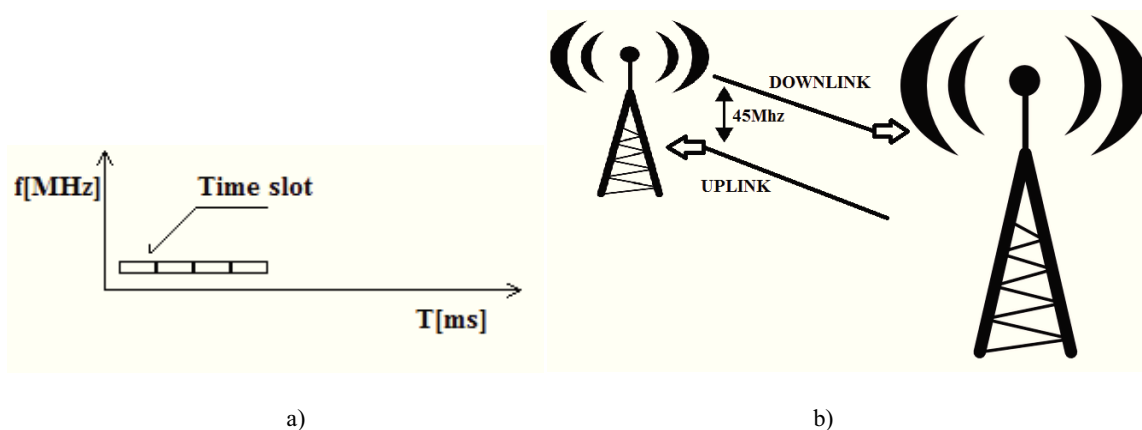
<sup>11</sup> RUKOVANSKÝ, Imrich a Oldřich KRATOCHVÍL. *Bezdrátové počítačové sítě*, s. 21-29

<sup>12</sup> IEEE 802.11. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11#endnote\\_80211ns\\_sgiB1](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#endnote_80211ns_sgiB1)

třeba zajistit, aby byl signál vyslán i přijímán zároveň. V dnešních bezdrátových sítích se používají hlavně dva typy obousměrného přenosu. A to frekvenčně dělený (*FDD*) a časově dělený (*TDD*) duplex (Obr 2.1.4).

Jak již název napovídá, při *FDD* se používá dělení frekvenčního pásma. To znamená, že jedna frekvence je používána pro přenos signálu a druhá pro příjem. Tento duplex používá například systém GSM, kde je použit odstup o 45MHz. Pokud tedy při vysílání používáme frekvenci 890,2MHz, pak frekvence pro příjem je **935,2MHz**.<sup>13</sup>

U *TDD* je výhoda ta, že se neplýtvá frekvenčním pásmem. Je totiž využita jen jedna frekvence, která je dělena v čase. Tyto časové intervaly se nazývají time slots. Další výhodou je regulace poměru UPLINK/DOWNLINK. Časová metoda je používána např. u bezšňůrových telefonů a starších systémů GSM.<sup>14</sup>



Obr. 2.1.4 Funkce duplexních metod a) TDM, b) FDM<sup>15</sup>

## 2.2 Základní druhy duplexních antén

V radiové technice existuje mnoho druhů antén, které jsou nejčastěji rozděleny podle vyzařovací charakteristiky (všesměrové, sektorové a směrové), které si nyní popíšeme, nebo podle polarizace (kapitola 2.3.2). Ve WiFi spojích se používají, při dělení podle vyzařovací charakteristiky, všechny tři typy.<sup>16</sup>

<sup>13</sup> Hodnoty jsou uvedeny pro první kanál GSM

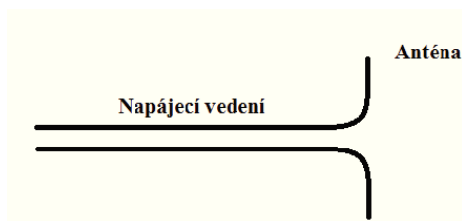
<sup>14</sup> Zdroj: BERNKOPF, Jan. FEMTO BUŇKY V MOBILNÍCH SÍTÍCH NOVÝCH GENERACÍ [online]. Brno: FEKT VUT, 2010. 34 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor verejne.php?file\\_id=37994](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor verejne.php?file_id=37994)

<sup>15</sup> Tamtéž

<sup>16</sup> RUKOVANSKÝ, Imrich a Oldřich KRATOCHVÍL. *Bezdrátové počítačové sítě*, s. 71-72

## Všesměrové antény

Tyto antény s lineární charakteristikou jsou širokopásmové a často nejjednodušší na sestavení. Antény mají vyzařovací diagram  $360^\circ$  a jejich zisk se pohybuje kolem 12dB. Převážně se vytváří z drátových antén. To znamená, že antény tvoří většinou dlouhé vodiče, jež nabývají různých tvarů (Obr 2.2.1). Od rovného drátu přes kruhové smyčky po typy šroubovicové (takzvané HELIX antény), které jsou využívány například v GPS systémech. Mezi drátové antény patří také drátový dipól. Principiálně se jedná o část vodiče, který je přerušen napájecí štěrbinou.<sup>17</sup> „Pokud do napájecí štěrbiny umístíme symetrický zdroj harmonického napětí, poteče v jedné půl-periodě do jednoho ramene proud, jehož náboje se budou koncentrovat na konci vodiče. druhé půl-periodě budou akumulované náboje odtékat zpět do zdroje. Na druhém rameni dipólu bude situace obdobná (v první půl-periodě akumulované náboje odtékají, v druhé půl-periodě se náboje akumulují).“<sup>18</sup>



Obr. 2.2.1. Dipól<sup>19</sup>

U WiFi je těchto antén využíváno ve volných prostranstvích, kde je velká pravděpodobnost připojení klientů k AP ze všech stran.

## Směrové antény

Pro duplexní přenosy se používají nejčastěji právě tyto typy antén. Zde se totiž řadí i antény parabolické, které jsou díky svému tvaru vysoce směrové. Ve WiFi se využívají hlavně anténní síta a YAGI. Jako u většiny duplexních antén se zde využívá dvojí polarizace.<sup>20</sup> Vyzařovací diagram je v rozmezí  $7$  až  $50^\circ$  v závislosti na typu. Typicky se antény používají na delší spoje od jednoho do tří kilometrů. Zisk antén je od 11 do 30 dB. Nejčastěji se používají pro spoj určitého bodu k AP, přičemž musí z AP získat co největší signál a nejméně zatěžovat okolí.<sup>21</sup>

<sup>17</sup> RUKOVANSKÝ, Imrich a Oldřich KRATOCHVÍL. *Bezdrátové počítačové sítě*, s. 72 ; Všesměrové antény. In: *Home WiFi* [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www.homewifi.wz.cz/vsesmerove\\_anteny.php](http://www.homewifi.wz.cz/vsesmerove_anteny.php)

<sup>18</sup> Slovník pojmů: Drátový dipól. In: RAIDA, Zbyněk. *Multimediální učebnice* [online]. 2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def&src=dratovy\\_dipol&bck=5-1-A&menu=on](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def&src=dratovy_dipol&bck=5-1-A&menu=on)

<sup>19</sup> PROCHÁZKA, Miroslav. *Antény: Encyklopedická příručka*. 3., rozšíř. vyd, s. 29

<sup>20</sup> MAZÁNEK, Miloš, Pavel PECHAČ a Jan VRBA. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky*, s. 19-20

<sup>21</sup> RUKOVANSKÝ, Imrich a Oldřich KRATOCHVÍL. *Bezdrátové počítačové sítě*, s. 71; Směrové antény. In: *Home WiFi* [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www.homewifi.wz.cz/smerove\\_anteny.php](http://www.homewifi.wz.cz/smerove_anteny.php)

## Sektorové antény

Posledním typem antén, které se využívají v praxi jako duplexní, jsou antény sektorové. Pro vyzařování využívají nejrůznější výstupní plochy (sektorové, jehlanové či kuželové trychtýře). Používají se při ozáření většího prostoru (od 30° do 180°). U WiFi techniky se jedná o antény připojené k přístupovým bodům, protože pokrývají signálem sektor větší, než antény směrové a také jako antény pro spoje do 300 metrů. Výhodou těchto antén může být cena a jednoduchost. Oproti směrovým anténám mají nevýhodu v tom, že často ruší příjem signálu jiných antén. Zisk se pohybuje zpravidla v hodnotách kolem 9 až 18 dB.<sup>22</sup>

### 2.3 Vlastnosti antén

V této části se budu věnovat jednotlivým vlastnostem antén, odvozením těchto vlastností a v neposlední řadě zkoumáním rozdílů mezi přijímací a vysílací stranou. Hlavně poslední bod je pro duplexní přenos důležitý.

#### 2.3.1 Vyzařovací a směrová charakteristika

I když by se mohlo zdát, že se jedná o dva rozdílné parametry, není tomu tak. Oba typy charakteristik jsou de facto stejná vlastnost. Jediný rozdíl je v tom, že pojem vyzařovací charakteristika se používá u vysílacích antén, zatímco směrovou charakteristiku nalezneme u antén přijímacích. „*Odlíšnost v jejich využití je spíš v konkrétních požadavcích kladených na uvedené třídy antén.*“<sup>23</sup> Tento fakt velice ulehčuje zkoumání této vlastnosti pro duplexní antény.

Elektromagnetická energie se vyzařuje směrem od antény (i k anténě) v různých směrech, různou velikostí. To závisí na typu antény a prostoru, ve kterém se anténa nachází. Abychom mohli tyto vlastnosti co nejlépe popsat, potřebujeme právě směrovou (vyzařovací) charakteristiku, znázorněnou graficky. Takovémuto grafu se říká směrový (vyzařovací) diagram a pro přehlednost jej rozdělujeme nejčastěji na dva jednotlivé řezy: horizontální a vertikální (Obr. 2.3.1).

V takto rozděleném diagramu lze totiž nejvíce vidět potřebné parametry a lépe se v něm orientuje, než například ve 3D zobrazení charakteristiky.<sup>24</sup>

U diagramů směrových antén, je třeba umět popsat jednotlivá vyzařovací „ramena“. Odborně se jim říká laloky (lobe) a dělí se podle směru vyzařování na hlavní lalok (směr

---

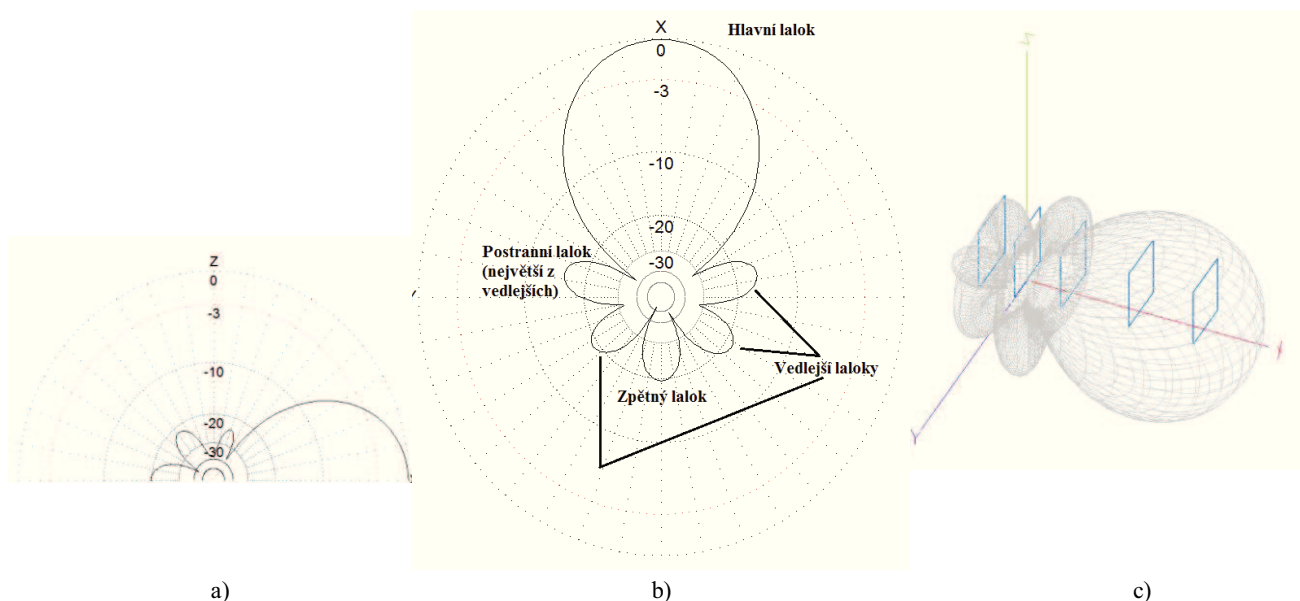
<sup>22</sup> RUKOVANSKÝ, Imrich a Oldřich KRATOCHVÍL. *Bezdrátové počítačové sítě*, s. 72 ; Sektorové antény. In: *Home WiFi* [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www.homewifi.wz.cz/sektorove\\_anteny.php](http://www.homewifi.wz.cz/sektorove_anteny.php)

<sup>23</sup> MAZÁNEK, Miloš, Pavel PECHAČ a Jan VRBA. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky*, s. 7

<sup>24</sup> Tamtéž, s. 7-9



s maximálním vyzařováním) a vedlejší laloky (všechny okolní). Z vedlejších poté určujeme zpětný lalok (lalok v opačném směru od hlavního) a postranní lalok (největší z vedlejších).



Obr. 2.3.1. Směrové (vyzařovací) charakteristiky a) Prostorové zobrazení s popisem laloků, b) Vertikální polarizace c) 3D vzdálené pole<sup>25</sup>

Ideálním, nereálným případem všesměrové antény je izotropický zářič, tato anténa bývá nejčastěji používána jako referenční a je potřebná např. k výpočtu směrovosti. Stejně tak u směrových antén je to Směrový zářič.

## Směrovost

Tato vlastnost vyjadřuje poměr intenzity vyzařování elektromagnetického pole k intenzitě vyzařování referenční antény v určitém směru. Pro duplexní antény je tedy tento parametr používán jen v případě vysílací antény a pro přijímací nemá vliv. Směrovost je dobrá pro vyjádření vlastnosti antény soustředit energii vyzařování do daného směru.

Nejčastěji se směrovost udává v decibelech a proto je nutno celkový výsledek přepočítávat pomocí logaritmů. Jak již bylo zmíněno, nejčastěji se jako referenční anténa používá izotropický zářič. Kromě něj může být použit i půlvlnný dipól, ale je nutností upravit parametry tak, že odečteme 2,15dB.<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Pro zhotovení diagramů jsem použil přednastavenou anténu v programu MMana-GAL v. 1.2.0.20

<sup>26</sup> DVORSKÝ, Marek. *Antény I.: Principy funkce, základní parametry*. Ostrava, 2011, s. 10, nepublikováno.



Výpočet maximální směrovosti je tedy popsán sadou vzorců (2.1 – 2.3):<sup>27</sup>

$$D(\vartheta, \varphi) = \frac{U(\vartheta, \varphi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\vartheta, \varphi)}{P_{\text{vyz}}} \quad (2.1)$$

$$D_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\text{max}}}{P_{\text{vyz}}} \quad (2.2)$$

$$U_{\text{max}} = B_0 F_{\text{max}}^2(\vartheta_0, \varphi_0) \quad (2.3)$$

$D$  ... directivity (směrovost)

$U$  ... intenzita vyzařování měřené antény

$U_0$  ... intenzita vyzařování referenční antény

$F_{\text{max}}$  ... maximum směrové charakteristiky

$\vartheta, \varphi$  ... úhly směrového vyzařování, pro určení maxima

$B_0$  ... konstanta úměrnosti

Pro přepočet do dB se musí výsledná hodnota směrovosti zlogaritmovat.

## Výkonová hustota vyzařovaného pole

Výkonovou hustotu dokážeme spočítat pomocí vektorového součinu okamžité hodnoty intenzity elektrického pole  $e$  [V.m<sup>-1</sup>] a okamžité hodnoty intenzity magnetického pole  $h$  [A.m<sup>-1</sup>]. Výsledkem je okamžitá hodnota Poyntigova vektoru  $s$  [W.m<sup>-2</sup>]. Pokud tuto hodnotu integrujeme přes tzv. obklopující plochu  $S$ , získáváme celkovou výkonovou hustotu (2.5).

Pro výpočet je nutno znát střední hodnotu Poyntigova vektoru za periodu, která se používá v harmonicky se měnících polích (2.4).<sup>28</sup>

$$S(x, y, z) = \frac{1}{2} \text{Re}[E \times H^*] \quad (2.4)$$

$$P_{\text{vyz}} = \frac{1}{2} \oint \text{Re}[E \times H^*] dS \quad (2.5)$$

<sup>27</sup> DVORSKÝ, Marek. *Antény I.: Principy funkce, základní parametry*. Ostrava, 2011, s. 10, nepublikováno

<sup>28</sup> MAZÁNEK, Miloš, Pavel PECHAČ a Jan VRBA. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky*, s. 9

## Intenzita vyzařování

Tento parametr je, stejně jako směrovost, určen jen pro vysílací část duplexní antény. Je to výkon, vyzařovaný do určitého jednotkového prostorového úhlu. Tento parametr se používá pro vzdálenou zónu antény (oblast, která se nenachází v kouli o poloměru daném vztahem:  $R_2=2d^2/\lambda$ )

Intenzita vyzařování  $U$  [ $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$ ] se vypočítá vzorcem (2.6):<sup>29</sup>

$$U = r^2 S_{\text{vyz}} \quad (2.6)$$

$r$  ... délka mezi měřeným místem a anténou [m]

$S_{\text{vyz}}$  ... hustota výkonu, který je vyzařován [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

Díky integraci intenzity přes celý prostorový úhel získáváme celkový vyzařovaný výkon.

Pro izotropický zářič je použit vztah (2.7) a je třeba při něm znát střední vyzařovaný výkon  $P_{\text{vyz}}$  (2.8).

Pro střední výkon je zase třeba znát element prostorového úhlu  $d\Omega$  (2.9).<sup>30</sup>

$$U_0 = \frac{P_{\text{vyz}}}{4\pi} \quad (2.7)$$

$$P_{\text{vyz}} = \oint_{\Omega} U_0 d\Omega = U_0 \oint_{\Omega} d\Omega = 4\pi U_0 \quad (2.8)$$

$$d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi \quad (2.9)$$

## Předožadní poměr

U duplexních směrových antén je také jedním z důležitých parametrů předožadní poměr, v literatuře také uváděn jako **činitel zpětného záření, nebo činitel zpětného příjmu**.<sup>31</sup>

Činitel zpětného příjmu (ČZP) ovlivňuje výsledný signál v místech, kde dochází k mnohonásobnému příjmu. Je to poměr svorkového napětí na anténě ve směru hlavního maxima k napětí při příjmu ve směru největšího postranního laloku.

Činitel zpětného záření (ČZZ) je opakem ČZP. Jedná se o poměr mezi vyzařováním antény ve směru maxima k vyzařování antény ve směru nejvyššího postranního laloku.<sup>32</sup>

<sup>29</sup> MAZÁNEK, Miloš, Pavel PECHAČ a Jan VRBA. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky*, s. 9-10

<sup>30</sup> DVORSKÝ, Marek. *Antény I.: Principy funkce, základní parametry*. Ostrava, 2011, s. 9-10, nepublikováno.

<sup>31</sup> Záleží na tom, zda je anténa přijímací či vysílací. U duplexních antén se logicky používá obojí.

### 2.3.2 Polarizační vlastnosti duplexních antén

Tento „balík“ vlastností je stěžejní pro duplexní antény. Jak bylo již na začátku mé bakalářské práce řečeno, tak právě díky polarizačním vlastnostem má duplexní anténa své nepřehlédnutelné výhody.

Samotnou polarizací vyzařované vlny dokážeme určit polarizační vlastnosti, přičemž polarizace vyzařované vlny je teoreticky většinou myšlena v maximu vyzařovací charakteristiky. Bohužel praxe je složitější v tom, že čím více se mění směrové vlastnosti antény, ruku v ruce se směrem se mění i vlastnosti polarizační.

Nejčastějšími typy polarizace jsou: lineární a eliptická. Lineární pak můžeme rozdělit na horizontální a vertikální. U eliptické se nejčastěji používá kruhová polarizace. Při volbě antény je prostorová orientace velice důležitá.<sup>33</sup>

Orientace vůči zemi (Obr 2.3.2) je další polarizační vlastností. „Orientace antény vůči zemskému povrchu určuje typ lineárně polarizované vlny, která je takovouto anténou vyzářena. V případě kruhové polarizace, rovina polarizace rotuje v kruhu a udělá jednu otočku během jedné periody signálu. Pokud je rotace ve směru pohybu hodinových ručiček při pohledu ve směru šíření, mluvíme o pravotočivé polarizaci, pokud je proti směru pohybu hodinových ručiček, mluvíme o levotočivé kruhové polarizaci.“<sup>34</sup>



Obr. 2.3.2 Orientace antény vůči zemi<sup>35</sup>

<sup>32</sup> MATUSZCZYK, Jacek. *Antény prakticky*. 2. české vyd. Překlad Marek Michalek, s. 13 ; Vlastnosti přijímacích antén pro VKV. In: *Elektronika: Teoretické základy, praktická zapojení* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://elnika.sweb.cz/radia/vlast\\_yagi.html](http://elnika.sweb.cz/radia/vlast_yagi.html)

<sup>33</sup> DVORSKÝ, Marek. *Antény I.: Principy funkce, základní parametry*. Ostrava, 2011, s. 10, nepublikováno.

<sup>34</sup> Tamtéž, s. 10

<sup>35</sup> Tamtéž, s. 11

## Polarizační nepřizpůsobení

Dalším pojmem v polarizačních vlastnostech je polarizační nepřizpůsobení. Jedná se o častý jev, kdy polarizace přijímací antény není stejná, jako polarizace přijímané vlny. Při tomto jevu může docházet ke značnému útlumu.

Polarizační ztráty jsou definovány vztahem (2.10):

$$L_{pol} = |a_{dop} \cdot a_{ant}|^2 = |\cos \psi|^2 \quad (2.10)$$

$a_{ant}$  ... jednotkový vektor směru přijímané intenzity elektrického pole

$a_{dop}$  ... jednotkový vektor vlny

Úhel mezi jednotkovými vektory se značí  $\psi$ . Pokud je anténa polarizačně přizpůsobená, výsledná hodnota  $L_{pol}$  je rovna 1.<sup>36</sup>

### 2.3.3 Vstupní impedance a její přizpůsobení

Vstupní impedance je důležitý pojem v anténní technice. Jedná se o poměr napětí a proudu na vstupu antény (na svorkách). A když v nadpise mluvíme o přizpůsobení, myslíme tím dosažení stejné impedance napáječe a antény. Pro tyto účely se navrhují tzv. přizpůsobovací obvody.

Pro výpočet celkové vstupní impedance  $Z_{vst}$  pomocí Hallénovy rovnice (2.13) je zapotřebí znát základní vzorec (2.11) a do něj pak dosadit tzv. štiřlostní koeficient (2.12). Jedná se o rozložení proudu na anténě a závisí na délce ramene dipólu  $l$  a ekvivalentním poloměru vodiče  $a$  (musíme si uvědomit, že vodič nemusí být vždy kruhový).

$$Z_{vst} = \frac{U_{vst}}{I_{vst}} = R_{vst} + jX_{vst} \quad \text{kde } R_{vst} = R_{vyz} + R_{ztr} \quad (2.11)$$

$$\Omega = 2 \ln \left( \frac{2l}{a} \right) \quad (2.12)$$

$$Z_{vst} = -\frac{jZ_0}{2\pi} \cdot \frac{\cos kl + \frac{a_1}{\Omega} + \dots + \frac{a_n}{\Omega^2}}{\sin kl + \frac{\beta_1}{\Omega} + \dots + \frac{\beta_n}{\Omega^2}} \quad (2.13)$$

---

<sup>36</sup> MAZÁNEK, Miloš, Pavel PECHAČ a Jan VRBA. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky*, s. 12

Podle prvního vzorce vidíme, že vstupní reaktance je součet reálné (vstupní činný odpor) a imaginární (vstupní reaktance) složky odporu. Činný odpor je pak součet vyzařovacího a ztrátového odporu antény.  $Z_0$  ve vzorci (2.13) je impedance volného prostoru a má hodnotu  $377\Omega$ .

Výsledkem Hallénova vzorce je pak řada členů  $\frac{a_n}{\Omega^n}, \frac{\beta_n}{\Omega^n}$ , které se postupně upřesňují.<sup>37</sup>

## Účinnost a zisk antény

Účinnost antény je poměr mezi vyzařeným činným výkonem a činným výkonem dodaným zdrojem do antény, jenž je vyjádřen vzorcem (2.14). V tomto vzorci je započítána ztráta v zemi i předmětech v blízkosti a také ztráty konečné vodivosti anténních vodičů a izolátorů. Celkově se dá říct, že se účinnost mění v závislosti na jednotlivých kmitočtových pásmech.<sup>38</sup>

$$\eta = \frac{P_{vyz}}{P_{vst}} = \frac{Rin_{vyz}}{Rin_{vyz} + Rin_{ztr}} \quad (2.14)$$

Pro charakteristiku účinnosti antény se musí použít další vlastnost a to zisk  $G$ .

Zisk není nic jiného, než hodnota zvýšení výkonu referenční antény, aby dosáhla stejné intenzity pole, jako anténa, kterou zkoumáme.

Odborně se pak dá říct, že se jedná o relativní hodnotu výkonu, která se vztahuje k referenční hodnotě výkonu (2.15).<sup>39</sup>

$$G = 10 \log \frac{P_1}{P_0} \quad (2.15)$$

Referenční anténou se rozumí **izotropický zářič**<sup>40</sup> nebo **půlvlnný dipól**.<sup>41</sup>

## Útlum odrazu a poměr stojatých vln

Tyto dva parametry se staly cílem mého prvního měření v kapitole 3.2 a proto je zapotřebí je podrobně probrat v teoretické rovině.

<sup>37</sup> DVORSKÝ, Marek. *Antény I.: Principy funkce, základní parametry*. Ostrava, 2011, s. 11-13, nepublikováno.

<sup>38</sup> Tamtéž, s. 14

<sup>39</sup> U zisku napětí se mění vzorec na  $G = 20 \log \frac{E_1}{E_0}$

<sup>40</sup> Izotropický zářič je měřen v hodnotách dBi, zatímco půlvlnný dipól v dBd.  $G = 0dB_d = 2,14dB_i$

<sup>41</sup> MATUSZCZYK, Jacek. *Antény prakticky*. 2. české vyd. Překlad Marek Michalek, s. 15

Činitel odrazu značící se  $\rho$  je poměr „velikosti určité složky vektoru intenzity vlny, odražené od nehomogenity, k velikosti téže složky vektoru elektrické intenzity vlnění dopadajícího.“<sup>42</sup>

Ztráty odrazem se značí  $RL$  a jsou měřeny v dB.

Častěji používaným parametrem při měření impedančního přizpůsobení je bezjednotková veličina - poměr stojatých vln  $SWR$ . Máme napáječ s impedancí  $Z_N$  a anténu s impedancí  $Z_A$ . Tyto dvě impedance by se měly v nejlepším případě rovnat. V takovém případě dojde k impedančnímu přizpůsobení. Pokud se ovšem nerovnají, znamená to, že určitá část výkonu jdoucí k anténě se neabsorbuje a nevyzáří do volného prostoru, ale vrátí se zpět po vedení ke zdroji vlny. Díky přičítání a odčítání fáze zpětné vlny s fází vlny směřující proti ní vznikají stojaté vlny. V následujícím bloku rovnic lze vidět vztahy mezi  $SWR$  a  $RL$  (2.16).

$$SWR = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{(E_I + E_R)}{(E_I - E_R)} \quad (2.16)$$

$E_{\max}$  ...maximální napětí na stojaté vlně

$E_{\min}$  ...minimální napětí na stojaté vlně

$E_I$  ...amplituda postupné vlny

$E_R$  ...amplituda odražené vlny

Činitel odrazu je pak poměrem mezi amplitudami proti sobě vyzařovaných vln (2.17).

$$\rho = \frac{E_R}{E_I} \quad (2.17)$$

Je třeba zapamatovat si, že impedance antény je komplexní číslo a proto se musí i činitel odrazu brát jako komplexní číslo (2.18). Činitel odrazu je tedy absolutní hodnota  $\rho'$  (2.19).

$$\rho' = \frac{(Z_A - Z_N)}{(Z_A + Z_N)} \quad (2.18)$$

$$\rho = |\rho'| = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \quad (2.19)$$

<sup>42</sup> Slovník pojmů: Koefficient odrazu, koeficient prostupu. In: RAIDA, Zbyněk. *Multimediální učebnice* [online]. 2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def&src=koeficient\\_odrazu&bck=2-5-A](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def&src=koeficient_odrazu&bck=2-5-A)

Z tohoto lze poté odvodit následující vztah (2.20).

$$SWR = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad (2.20)$$

Samotné ztráty odrazem  $RL$  se pak vypočítají následovně (2.21).

$$RL = 10 \log \left( \frac{P_I}{P_R} \right) = 20 \log \left( \frac{E_R}{E_I} \right) = -20 \log \left( \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right) = -20 \log(\rho) \quad (2.21)$$

Význam  $SWR$  v anténní technice je vcelku jednoduchý, přesto nepřehlédnutelný. Odrazy se musíme snažit udržet co nejmenší, abychom zabránili ztrátě energie nebo zkreslení signálu. Pokud dojde k velkému odrazu, může dojít ke snížené propustnosti signálu vlivem opakování vadných paketů, v krajním případě může dojít i ke zničení zdroje signálu (např. AP).

Valná většina firem může brát jako uspokojivé  $SWR$  i hodnotu kolem 3 a mnoho znalých uživatelů zase hodnoty  $SWR$  přeceňuje a snaží se dosáhnout ideálu. V praxi jsou pak přijatelné hodnoty  $SWR = 1,5$  až 2.

Vliv na kvalitu  $SWR$  má nejen samotná anténa, ale také konektory, kabeláž i samotný zdroj vlny.<sup>43</sup>

### Šířka pásma a rezonanční kmitočet

Z hlediska elektroniky je každá anténa otevřený rezonanční obvod. Závislost mezi indukčností, kmitočtem a kapacitou v rezonančním obvodu vyjadřuje rovnice (2.22)

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.22)$$

I přes svůj rezonanční kmitočet je anténa určena pro práci ve svém kmitočtovém pásmu, které ohraničují frekvence  $f_1$  a  $f_2$ . V případě Wifi antén se jedná o bezlicenční pásmo (2,4 GHz) a licenční pásmo (5 GHz).

Šířka pásma závisí hlavně na konstrukci antény (délka, průměr, výška aj.) a jednotlivých typech antén a pohybuje se od 2 kHz až po stovky MHz. Čím více je anténa širokopásmová, tím větší výhodu má v tom, že se nemusí doladovat, jelikož pokryje celé pásmo, na kterém je

---

<sup>43</sup> KONSTRUKCE SWR-metru. In: ULLMANN, František. *DUssoft computers* [online]. 1992-2011 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.dusoft.cz/PMR/SWR/SWR.htm> ; Přenos WiFi z pohledu zdroje a spotřebiče. In: PLHAL, Pavel. *Telefon.unas.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://telefon.unas.cz/wifi.htm> ; MATUSZCZYK, Jacek. *Antény prakticky*. 2. české vyd. Překlad Marek Michalek, s. 17-18

uskutečněn provoz. Nevýhodou však může být větší rušení a okolní šum. Je také dobré si zapamatovat, že čím je širší kmitočtové pásmo, tím je menší hodnota zisku antény.<sup>44</sup>

---

<sup>44</sup> MATUSZCZYK, Jacek. *Antény prakticky*. 2. české vyd. Překlad Marek Michalek, s. 14-15



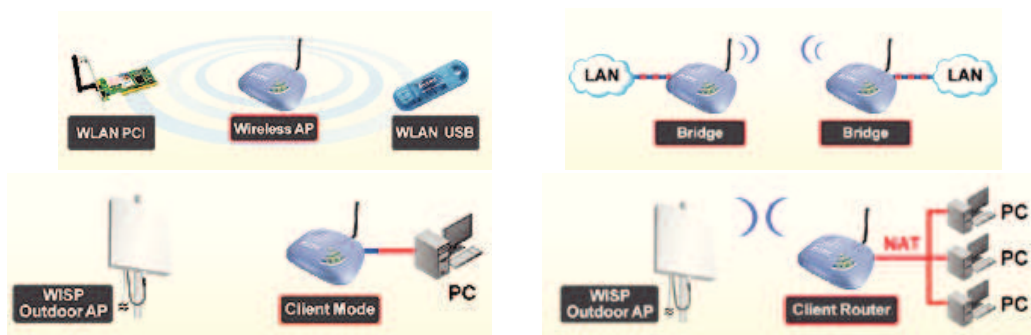
### 3. Měření parametrů duplexních antén

Konečně se dostáváme k samotnému měření duplexních antén, které jsou pro tyto účely zapůjčeny Katedrou elektrotechniky, stejně jako měřicí přístroje. Zabývám se dvěma měřeními a to konkrétně měřením impedančních parametrů a měřením propustnosti mezi dvěma zářiči.

#### 3.1 Seznámení s měřicími přístroji a měřenými anténami

##### Měřicí přístroje

Pro měření impedančních parametrů antény i měření propustnosti je potřeba vhodný zdroj šíření elektromagnetické vlny. K tomuto účelu mi posloužil Access point od firmy AirLive typ WLA-5000AP. Jedná se o přístupový bod s odnímatelnou anténou, který pracuje na standardu 802.11 ve třech klasických módech (a, b, g). Výstupní signál dosahuje 17 dBi a může dosáhnout rychlosti přenosu až 180 Mbps. Mimo klasického použití, jako ethernetového klienta, lze, díky změně Firmware, přiloženého na CD, použít také jako bridge, repeater a samozřejmě i jako AP. K tomu všemu může být v tzv. funkci WISP, což je klasické použití s přidavkem sdílení IP (Obr. 3.1.1).<sup>45</sup>



Obr. 3.1.1 Možnosti použití AP WLA-5000AP<sup>46</sup>

K měření jsem dále využil měřicí přístroj DMU – Monitor útlumu a odrazu. Přístroj dokáže měřit výstupní výkon vysílače, impedanční přizpůsobení antény, vložný útlum koaxiálních kabelů a impedanční přizpůsobení těchto kabelů. Na přístroji se nastavuje měřené pásmo, které volím ze třech kmitočtových rozsahů pomocí přepínače (2,4GHz, 3,5GHz, 5,6GHz) a směrovost má typicky hodnotu 30dB. Díky vybavení funkce MAX – HOLD se zachytává maximální úroveň jednotlivých vysílaných paketů, která je pak zobrazována na displeji. Dalším přepínačem se pak volí mezi

<sup>45</sup> WLA-5000AP v3: 802.11a/b/g Multi-funkční bezdrátový Access Point. In: *AirLive®* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://cz.airlive.com/product/WLA-5000AP\\_v3](http://cz.airlive.com/product/WLA-5000AP_v3)

<sup>46</sup> Tamtéž

měřením útlumu odrazu, výstupního výkonu vysílače a polohou pro vypnutí. Přístroj má dva N female konektory. Konektor označený AP pro připojení externího zdroje vysokofrekvenčního signálu a ANT konektor pro připojení antény. Přístroj je jednoduchý na ovládání.<sup>47</sup>

Pro měření propustnosti mezi komponentami jednotlivých duplexních antén využívám testovací přijímač od firmy, velmi známé v odvětví měření elektrotechniky, Rohde&Schwarz. Tento přístroj je velmi složitý a má mnoho parametrů. **Z tohoto důvodu zde vyzvednu jen několik podstatných parametrů, které jsem používal při měření.**<sup>48</sup> Analyzátor s jednoduchým názvem ESPI 7 dokáže pracovat ve frekvenčním rozsahu 9 kHz -7 GHz. Přístroj má rychlý měřicí čas od 100  $\mu$ s až po 100 s. Je zde volba měřící **EMI**<sup>49</sup> **šířky pásma** (200 Hz, 9 kHz, 120 kHz, 1MHz). Přístroj vlastní 6 měřících detektorů, přičemž až tři detektory mohou být použity současně.

Maximální vstupní stejnosměrný signál je 50 V a výchozí maximální hodnota *RF* je 10 dB (maximální pulzní energie 1 mWs, maximální pulzní napětí 150 V, CW *RF*= 1W).

Přístroj dává na výběr dva základní módy a to ANALYZER a RECIEVER. Analyzer je používán pro spektrální analýzy signálu a test Reciever se používá pro příjem signálu v daném rozsahu kmitočtů, načež jej můžeme pomocí přístroje podrobněji zkoumat.

K ESPI je možnost připojení různých počítačových periférií (myš, klávesnice, monitor, tiskárna...) má vlastní HDD a samozřejmě je USB pro použití flash disku.<sup>50</sup>

## Měření antény

Prvním měřeným prvkem se stala sektorová dvoupolarizační anténa nesoucí označení GigaSektor Duo 15/120 5GHz , MIMO. Jak je z názvu patrné, jedná se o anténu pracující v pásmu 5,45 – 5,75 GHz se dvěma konduktory v jednom pouzdře. Díky této frekvenci anténa pracuje s WiFi standardem 802.11a/n. Zisk antény je 15 dBi. Vyzařovací horizontální úhel dosahuje hodnoty 120° a vyzařovací vertikální úhel se u obou polarizací lehce liší. Zatímco u vertikálně situovaného konduktoru je hodnota 8°, tak u horizontální části antény je to 7°. Hodnota *SWR* by se měla

---

<sup>47</sup> Power and Return loss monitor DMU: monitor výkonu a útlumu odrazu DMU. In: *DCom* [online]. 2007 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://www.wifi-obchod.cz/index.php?page=shop.getfile&file\\_id=328&product\\_id=168&option=com\\_virtuemart&Itemid=70](http://www.wifi-obchod.cz/index.php?page=shop.getfile&file_id=328&product_id=168&option=com_virtuemart&Itemid=70)

<sup>48</sup> Pro hlubší analýzu ESPI doporučuji datasheet přístroje.

<sup>49</sup> Elektromagnetická interference - zdroj vytváří energii, která je přenášena elektromagnetickou vazbou do jiných přístrojů, kde působí jako rušení. Obor zabývající se tímto jevem se nazývá EMC – elektromagnetická kompatibilita.

<sup>50</sup> Test Receiver R&S® ESPI: The precompliance standard up to 7 GHz. In: *Rohde & Schwarz* [online]. 1997, 2009 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: [http://www.rohde-schwarz.cz/file\\_14199/ESPI\\_dat\\_en.pdf](http://www.rohde-schwarz.cz/file_14199/ESPI_dat_en.pdf) ; EMI, EMC a odrušovací prvky: Přehled odrušovacích filtrů a jiných prvků proti EMC a EMI. In: *Hw.cz* [online]. 2. 7. 2001 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/soucastky/emi-emc-a-odrusovaci-prvky.html>

pohybovat v rozhraní od 1 do 1,5. Co se týče konstrukce, je anténa odolná a chráněná proti atmosférickým jevům a svými rozměry: 465 x 140 x 40 mm je nejmenší anténou z měřených.<sup>51</sup>

V pořadí druhá WiFi anténa nese název JRC – 24 DuplEX od firmy Jirous. Jedná se o parabolickou anténu o průměru 38 cm, tudíž striktně směrovou. Vyzařovací úhel je 9° pro oba konduktory, jak v horizontální, tak ve vertikální rovině. Výrobce udává, že se jedná o anténu s nejvyšší izolací mezi polarizacemi na trhu (tohoto dosahuje díky kovovému límci). Anténa pracuje taktéž v pásmu 5,45 až 5,8 GHz. Zisk je ovšem vyšší než u předchozí antény a dosahuje hodnoty přibližně 23,6 dBi. Maximální *SWR* by mělo být 1,5. Anténa je odolná vůči vlhkosti, díky technologii Hydrophobic coating. Parabola je z hliníkové slitiny. V laboratořích se nachází více kusů tohoto typu antén.<sup>52</sup>

Třetí a poslední měřenou anténou se stala směrová duplexní anténa s názvem Rocketdish 5630 5G AirMax 2x2 MIMO od společnosti Ubiquiti Networks. Se svými 648 mm v průměru paraboly se jednalo o největší anténu z měřených. Dokáže pracovat ve frekvenčním pásmu 5,1 - 5,8 GHz a její zisk dosahuje hodnot 30dBi. Úhel vyzařování je shodný v horizontální i vertikální rovině u obou konduktorů 5°. Jako jediná anténa z výběru, měla jiné konektory a to RP-SMA, proto musely být při měření použity redukce. *SWR* by mělo být v nejhorším případě 1,4.<sup>53</sup>

## Překážky

Při měření byly také využívány dva typy překážek, abych mohl pozorovat, jak jsou měřené hodnoty závislé na rušení.

Pro obě měření je využívána plechová deska o rozměrech 48,8 x 31,5 cm. Ta stojí na 26 cm vysokém stojánku a díky pohyblivé ose se dá libovolně natáčet.

Pro druhé měření byla také jako překážka využita drátová anténa, dlouhá 97 cm o průměru 7 mm. Ta by mohla nahradit překážky, které se mohou před anténou běžně objevit (hromosvod, jiné antény atd.).

Pro celou kapitolu je v příloze I. uvedena fotogalerie výše popsaných měřených prvků a měřících přístrojů.

---

<sup>51</sup> GigaSektor Anténa Duo 15/120 5GHz. In: *Cyberbajt.cz* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.cyberbajt.cz/index.php?a=d&i=464>

<sup>52</sup> Parabolická anténa JRC-24 DuplEX. In: JIRUS, Jan. *WiFi antény* [online]. 12. 01. 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://cz.jirous.com/anteny-5ghz/jrc-24-duplex>

<sup>53</sup> Datasheet: Rocket Dish. In: *Ubiquiti* [online]. 2011 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd\\_ds\\_web.pdf](http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf)

### 3.2 Měření impedančních parametrů antény pomocí DMU

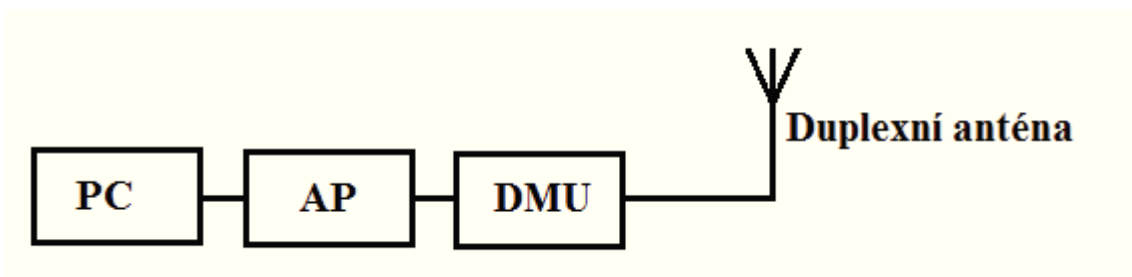
Pro toto měření je zapotřebí zdroj elektromagnetické vlny (v mém případě Přístupový bod), měřená anténa a samotný měřič útlumu a odrazu.

Ze všeho nejdříve je důležité upravit AP tak, abych s ním mohl pracovat. To znamená nastavit správnou frekvenci a zajistit zabezpečení. Pro připojení k AP je potřeba zapojit jej ke zdroji elektrické energie a ethernetovým kabelem připojit k PC, jež mi slouží jako nastavovací terminál. Poté je potřeba nastavit na síťové kartě IP adresu ve stejné podsíti, jako je výchozí IP adresa přístupového bodu. V mém případě jsem nastavil adresu 192.168.1.2, abych se posléze mohl připojit přes internetový prohlížeč k základní IP přístupového bodu: 192.168.1.1.

Nejprve jsem upravit zabezpečení tak, abych zamezil přístupu k AP klientovi zvenčí, jenž by mohl ohrozit mé měření. V praxi to znamená skrýt SSID, nastavit zabezpečení WPA2-PSK, zvolit šifrování AES a přidat dostatečně silné heslo (tyto základní zabezpečovací kroky jsou doporučeny např. pro menší firmy.).

Poté jsem se mohl pustit do nastavení správného standardu. Jelikož všechny měřené antény jsou stavěny na 5GHz a AP je možno nastavit na módy 802.11 a, b a g, jedinou možností bylo nastavit AP na standard typu a. Také jsem musel zvolit správný kanál, který by odpovídal frekvenčnímu pásmu antény (kanály 104 - 140).<sup>54</sup>

Nyní stačilo mezi AP a anténu zapojit DMU pomocí dvou koaxiálních kabelů podle následujícího schématu (obr 3.2.1). Použil jsem měřicí koaxiální kabely s nízkým útlumem od firmy DCom, které tím pádem méně ovlivňují měření.



Obr. 3.2.1 Blokové schéma zapojení pro měření impedančních parametrů

Měřič DMU bylo potřeba nastavit na měření v rozmezí 4,9 – 5,9 GHz a mít zapnuto měření útlumu odrazu. Každou anténu jsem pro měření připravil tím, že jsem ji namířil do prostoru bez

<sup>54</sup> Seznam WiFi kanálů pro WLAN. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://wiki.airdump.cz/Seznam\\_WiFi\\_kan%C3%A1l%C5%AF\\_pro\\_WLAN](http://wiki.airdump.cz/Seznam_WiFi_kan%C3%A1l%C5%AF_pro_WLAN)

překážek, jež by ovlivňovaly Fresnelovu zónu a zapojil ji k měřiči DMU do konektoru ANT. Výstup na displeji jsem zaznamenával pro vyhodnocení měření. Proměřil jsem vždy oba konduktory a poté jsem před anténu postavil překážku v podobě hliníkové desky a sledoval, jak se hodnoty změní. Takto jsem změřil všechny typy antén. Jelikož jsem měl k dispozici více antén typu JRC – 24 od firmy JIROUS, rozhodl jsem se změřit tyto antény dvě, abych si ověřil, zda mají antény podobné parametry, jak by to z teoretického hlediska mělo být, nebo jestli se výrazněji liší.

Hodnoty  $RL$  jsem zapsal do následující tabulky (Tab. 3.2.2) a poté je přepočítal na hodnoty  $SWR$  (Tab. 3.2.3) pomocí rovnice (3.1).<sup>55</sup>

Útlum odrazu $R_L$ [dB]							
GigaSektor Duo		Jirous JRC -24		Jirous JRC -24 č2		RocketDish 5630	
Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
-20,2	-21,6	-19,8	-25,1	-17,7	-19,7	-28,1	-24,3
-20,3	-21,8	-19,9	-25,1	-17,8	-19,6	-28,2	-24,5
-20,8	-21,3	-19,8	-25,2	-17,7	-19,7	-28,1	-24,2
-20,1	-21,5	-19,8	-25,2	-18,9	-19,7	-28,2	-24,4
-20,0	-21,4	-19,7	-25,3	-19,2	-19,7	-28,1	-24,4
Překážka		Překážka		Překážka		Překážka	
-14,5	-14,5	-11,2	-13,9	-10,9	-10,2	-14,1	-19,9
-14,6	-14,7	-11,8	-14,4	-7,6	-13,5	-16,9	-16,7
-15,3	-15,6	-13,5	-13,3	-8,7	-12,7	-16,2	-16,3
-15,4	-14,8	-14,3	-13,9	-9,4	-12,8	-15,5	-15,5
-15,5	-14,2	-14,0	-11,2	-9,3	-14,5	-16,1	-16,6

Tab. 3.2.2 Tabulka  $RL$

$$SWR = \frac{1 + 10^{\frac{RL}{20}}}{1 - 10^{\frac{RL}{20}}} \quad (3.1)$$

S přepočtenými hodnotami na  $SWR$  se již dá pracovat a porovnávat s teoretickými hodnotami. V běžné praxi (uváděno v literatuře)<sup>56</sup> je pro opravdu kvalitní vysílání potřeba hodnota alespoň  $SWR = 1,5$  až 2 a to nejen na anténě, ale v celé anténní sestavě<sup>57</sup>.

<sup>55</sup> WLA-5000AP: 108Mbps 802.11a/b/g Access Poin. In: *AirLive®* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://fs.airlive.com/manual/AirLive\\_WLA-5000AP\\_QSG.pdf](http://fs.airlive.com/manual/AirLive_WLA-5000AP_QSG.pdf); Power and Return loss monitor DMU: monitor výkonu a útlumu odrazu DMU. In: *DCom* [online]. 2007 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://www.wifi-obchod.cz/index.php?page=shop.getfile&file\\_id=328&product\\_id=168&option=com\\_virtuemart&Itemid=70](http://www.wifi-obchod.cz/index.php?page=shop.getfile&file_id=328&product_id=168&option=com_virtuemart&Itemid=70); Zabezpečení bezdrátových sítí WiFi (IEEE 802.11b, g). *Automa* [online]. 2004, č. 10 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32563](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32563)

Poměr stojaté vlny SWR[-]							
GigaSektor Duo		Jirous JRC -24		Jirous JRC -24 č2		RocketDish 5630	
Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
1,217	1,181	1,228	1,118	1,300	1,231	1,082	1,130
1,214	1,177	1,225	1,118	1,296	1,234	1,081	1,127
1,201	1,188	1,228	1,116	1,300	1,231	1,082	1,131
1,219	1,184	1,228	1,116	1,256	1,231	1,081	1,128
1,222	1,186	1,231	1,115	1,246	1,231	1,082	1,128
Překážka		Překážka		Překážka		Překážka	
1,464	1,464	1,760	1,506	1,798	1,894	1,491	1,225
1,458	1,451	1,692	1,471	2,430	1,536	1,333	1,343
1,415	1,398	1,536	1,552	2,161	1,603	1,367	1,362
1,409	1,445	1,478	1,506	2,025	1,594	1,404	1,404
1,404	1,484	1,499	1,760	2,043	1,464	1,372	1,347

Tab. 3.2.3 Tabulka SWR

Mým úkolem však bylo vyhodnotit jen samotnou anténu, abych její *SWR* mohl porovnat s velikostí *SWR*, kterou udává prodejce. Ve finále jsem tedy antény porovnával podle třech zdrojů. Prvním byla výše zmíněná hodnota z většiny literatury. Druhým zdrojem je maximální hodnota udávaná prodejcem a třetí je tabulka měřicího zařízení DMU (Tab. 3.2.4).

Zde je potřeba uvést, že všechny antény byly měřeny ve stejných podmínkách s minimálním časovým odstupem, čímž se minimalizovaly teplotní a jiné rozdíly, které by mohly ovlivnit měření.

Nejlépe při měření obstála anténa s nejvyšším ziskem ROCKETDISH a podle tabulky, která je přidávána jako příloha manuálu k měřicímu přístroji DMU (Tab. 3.2.4) by dosáhla až na hodnoty výborného přizpůsobení jak v horizontální, tak vertikální rovině, přičemž vertikální konduktor měl horší přizpůsobení v řádech desetin jednotek. S velkou rezervou se tak tako duplexní anténa vešla do své teoretické hranice  $SWR = 1,4:1$ .

Další úspěšně přizpůsobenou anténou se stala anténa s nejnižším ziskem GIGASEKTOR, u níž se mi taktéž podařilo v obou polarizacích naměřit dobré hodnoty *SWR*, které jsou pod teoretickým maximem udávané výrobcem. Anténa se také bez problému vešla do rozmezí, udávaného literaturou ( $SWR = 1,5 - 2,0$ ). Pokud bych ji měl znovu proměřovat, vybral bych zvláště pro tuto anténu okolí s výrazně menším počtem překážek, které mohou narušovat Fresnelovu zónu

<sup>56</sup> MATUSZCZYK, Jacek. *Antény prakticky*. 2. české vyd. Překlad Marek Michalek, s. 17-18

<sup>57</sup> Všechny měřené antény mají garantovanou hodnotu  $SWR = 1:1$  po 1,4:1 či 1,5:1.

antény a tím způsobovat problémy s vyšším  $RL$ , protože správně ustavit anténu, aby ukazovala dobré hodnoty, byl problém.

Při měření dvou antén JRC – 24 jsem byl velice překvapen, jak se lišil kus od kusu ve vertikální polarizaci. Zatímco první měřená anténa se pohybovala kolem hodnot 1,2, tak anténa měřená jako druhá v pořadí dosahovala hodnot 1,3, což znamená horší přizpůsobení na hranici použitelnosti dle tabulky DMU (Tab. 3.2.4), podle jiné literatury a výrobce antény však anténa dosahuje hodnot v normě. U vertikální polarizace byly opět hodnoty druhé měřené antény JRC o desetiny horší.

I když antény dosahovaly někdy i vyšší hodnoty  $SWR$ , jejich maximum udávané výrobcem nebylo ani jednou překročeno. Velkou chybu měření mohly způsobovat odrazy od okolních předmětů, jelikož jsem neměl možnost vysílat do ideální oblasti, bez narušení Fresnelovy zóny.

Větší vliv na rušení od okolních předmětů jsem mohl sledovat při postavení překážky před anténu. Jak lze pozorovat z naměřených hodnot  $SWR$  (Tab. 3.2.3) se u všech antén velice zvýšil poměr stojatých vln. Zatímco u první (jediné sektorové) antény se jednalo maximálně o dvě až tři desetiny, tak obě antény od firmy JIROUS zaznamenaly výraznější zvýšení poměru. Stejně jako JRC-24 si vedla i poslední směrová anténa. Sektorová anténa měla tedy s překážkou nejmenší problém.

SWR	RL	přizpůsobení
1,0:1		ideální
1,1:1	-26,4	výborné
1,2:1	-20,83	dobré
1,25:1	-19,08	použitelné
1,3:1	-17,69	špatné
1,4:1	-15,56	
1,5:1	-13,98	
1,6:1	-12,74	
1,7:1	-11,73	
1,8:1	-10,88	
1,9:1	-10,16	
2,0:1	-9,54	
3,0:1	-6,02	
4,0:1	-4,44	
5,0:1	-3,52	
6,0:1	-2,92	
10,0:1	-1,71	
$\infty$ :1	0	

Tab. 3.2.4 Přizpůsobení antény<sup>58</sup>

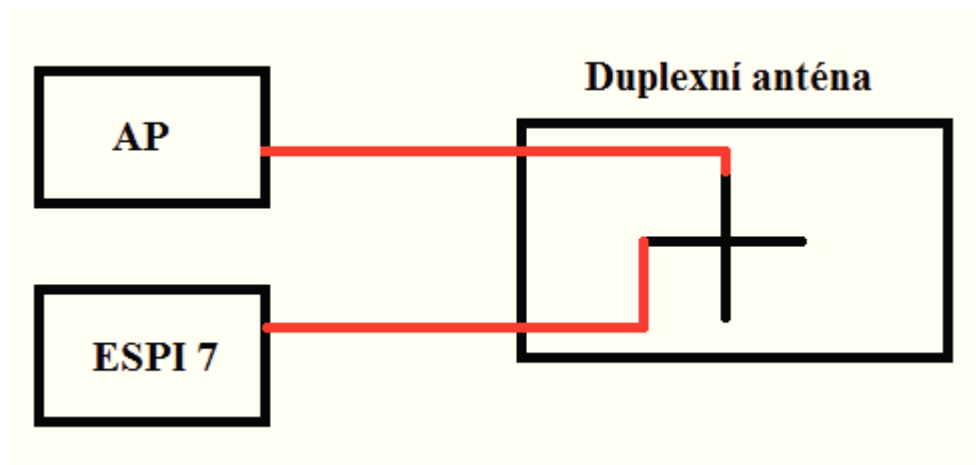
Pro celou kapitolu je v příloze II. uvedena fotogalerie prvního měření.

<sup>58</sup> Power and Return loss monitor DMU: monitor výkonu a útlumu odrazu DMU. In: *DCom* [online]. 2007 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://www.wifi-obchod.cz/index.php?page=shop.getfile&file\\_id=328&product\\_id=168&option=com\\_virtuemart&Itemid=70](http://www.wifi-obchod.cz/index.php?page=shop.getfile&file_id=328&product_id=168&option=com_virtuemart&Itemid=70)

### 3.3 Měření propustnosti mezi dvěma komponenty jedné antény

V pořadí druhé měření jsem prováděl s již seznámeným přístrojem ESPI 7. Principem měření bylo připojit na jeden dipól zdroj vlny, tedy již přednastavené AP a na druhý, ortogonální dipól připojit analyzátor ESPI a měřit signál, který „prosákne“ skrze izolaci.

Měření jsem tedy prováděl dle následujícího zjednodušeného blokového schématu (Obr 3.3.1).



Obr. 3.3.1 Blokové schéma zapojení pro měření propustnosti dvou komponent

Zabezpečení a nastavení standardu přístupového bodu zůstalo stejné, jako v předchozím měření.

Před měřením jsem si nastavil měřicí přístroj tak, aby bylo možné vidět naměřené hodnoty. Nejprve jsem nastavil měřené jednotky, což se provede stiskem tlačítka AMPT a poté se postraním výběru zvolí nabídka měřících jednotek: tlačítko UNIT. Poté už se zobrazí samotný výběr ( $\text{dB}\mu\text{V}$ ,  $\text{dBm}$ ,  $\text{dB}\mu\text{A}$ ,  $\text{dBpW}$ ,  $\text{dBpT}$ ) v němž jsem zvolil  $\text{dBm}$  jenž mi v dané situaci nejlépe poslouží. Poté zbývá nastavit správnou maximální a minimální frekvenci, zvolit čas snímání a EMI šířku pásma. Vše najednou můžeme nastavit pomocí tabulky v nabídce:

**SWEEP → USE SCAN TABLE**

Na obrázku (Obr 3.3.2) je ukázka nastavení několika měřících tabulek. V mé první tabulce však bylo zapotřebí zvolit scanovací oblast a rozsah frekvence pomocí výběru Start a Stop tak, abych viděl práci antény přes celé pásmo. Jelikož anténa má rozsah 5,45 – 5,75 GHz, nastavil jsem tyto hodnoty. Protože se jedná o širokou frekvenční oblast, nastavil jsem Step size (velikost kroku



scanování) na hodnotu 40 kHz a Res BW na 120 kHz. Meas time (Měřicí čas) jsem nastavoval od 500  $\mu$ s do 100 ms. Zbylé hodnoty jsem nechal ve výchozím nastavení.

SCAN TABLE					
Scan Start	20.000 MHz				
Scan Stop	1.250 GHz				
Step Mode	LIN				
	RANGE1	RANGE2	RANGE3	RANGE4	RANGE5
Start	150.000 kHz	30.000 MHz	1.000 GHz		
Stop	30.000 MHz	1.000 GHz	2.000 GHz		
Step Size	4 kHz	40 kHz	400 kHz		
Res BW	9 kHz	120 kHz	1 MHz		
Meas Time	1 ms	100 $\mu$ s	100 $\mu$ s		
Auto Ranging	OFF	OFF	OFF		
RF Attn	10 dB	10 dB	10 dB		
Preamp	OFF	OFF	OFF		
Auto Preamp	OFF	OFF	OFF		

Obr. 3.3.2 Scan tabulka přístroje ESPI 7<sup>59</sup>

Ze všeho nejdříve jsem vyzkoušel, jak vypadá příjem signálu samotného AP. To znamená, že jsem nastavil nejvyšší hodnotu výkonové úrovně v nastavení přístupového bodu a připojil jej **napřímo**<sup>60</sup> do vstupního konektoru přístroje ESPI. V režimu SWEEP jsem spustil měření a zastavil jsem jej až při průchodu celého měřeného pásma.

Na řadě bylo samotné měření propustnosti. Takže jsem zapojil vertikální konektor do AP a horizontální na vstup ESPI. Po tomto měření jsem přehodil zapojení konektorů a znovu signál nascanoval. Takto jsem postupoval opět i s použitím překážky před anténou. Oproti první sadě měření, jsem ale používal překážky dvě. Také jsem měnil jejich umístění před anténou a natáčení jednotlivých překážek.

Při každém měření další antény jsem volil jen rozsah frekvence a zbylé parametry nechával nastaveny stejně. Měření jsem opět prováděl pro dva kusy antény JRC – 24, sektorovou anténu a anténu ROCKETDISH.

Všechny grafy jsem stahoval na flash disk pomocí funkce PRINTSCREEN, nacházející se v menu HCOPY. Díky připojené myši a klávesnici jsem jednoduše přejmenovával a ukládal na úložiště pro pozdější rozbor.<sup>61</sup>

Pro přepočet dBm do dB je zapotřebí trochy teorie. Zatímco dB je logaritmická jednotka, vyjadřující, kolikrát se jedna hodnota zvětší oproti druhé, tak dBm je hodnota vztažená přímo k velikosti 1mW. Nejsnazší cestou je tedy přepočítat hodnoty dBm na mW, což provedeme pomocí

<sup>59</sup>Operating manual: EMI test Receiver. In: Rohde & Schwarz [online]. 2006 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://www.rohde-schwarz.cz/file\\_3575/espi\\_02e.pdf](http://www.rohde-schwarz.cz/file_3575/espi_02e.pdf)

<sup>60</sup> Mezi přístrojem a měřenými anténami a AP byl po celou dobu měření připojen pulzní omezovač pro bezpečnost přístroje.

<sup>61</sup>Operating manual: EMI test Receiver. In: Rohde & Schwarz [online]. 2006 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://www.rohde-schwarz.cz/file\\_3575/espi\\_02e.pdf](http://www.rohde-schwarz.cz/file_3575/espi_02e.pdf)

úpravy vzorce (3.2) a poté hodnoty mW použijeme pro přepočet do dB. Pro tento přepočet je ale zapotřebí nejen výstupní, ale také vstupní hodnota výkonu. Jako vstupní hodnota sloužila tedy nejvyšší naměřená hodnota signálu, který byl vysílán z AP přímo do ESPI, bez použití antény. Výstupním parametrem se stala nejvyšší hodnota signálu, který prošel skrze izolaci antény z jednoho dipólu do druhého. S těmito hodnotami už jsem mohl vypočítat odchylku mezi konektory v dB (3.3).<sup>62</sup>

$$P_{mW} = 10^{\left(\frac{P_{[dBm]}}{10}\right)} \quad (3.2)$$

$$P_{dB} = -10 \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (3.3)$$

Z grafů jsem vybíral jen nejvyšší hodnoty dBm, abych potvrdil, či vyvrátil teoretické hodnoty izolace mezi vstupy, dané výrobcí. Aby bylo mé měření co nejpřesnější a abych se vyhnul náhodným chybám měření, naměřil jsem více hodnot, které pak byly zprůměrovány.

Jako příklad je uvedena zprůměrovaná hodnota výkonu AP. Vypočítala se podle vzorce (3.4), výsledek je pak pomocí vzorce (3.2) převeden na mW:

$$P_1 = -\left(\frac{26,86 + 28,93 + 28,59 + 27,2 + 28,18 + 27}{6}\right) = -27,79 \text{ dBm} \quad (3.4)$$

$$P_1 = 0.0016634127 \text{ mW}$$

Stejným způsobem se spočítaly naměřené hodnoty všech antén.

V první tabulce (Tab. 3.3.3) je znázorněna průměrná hodnota prosakování výkonu skrze izolaci. Pro přehlednost je zaznamenána v dBm. Ve druhé tabulce (Tab. 3.3.4) jsou již zobrazeny vypočtené hodnoty poměru mezi vstupním (napřímo) a výstupním (skrze izolaci) výkonem AP.

S takto zaznamenanými hodnotami mohu jednoduše vyhodnotit výsledky měření. Při měření bez překážky před anténou jasně dominovaly antény od firmy JIROUS, a jelikož právě ty slibují nejlepší izolaci mezi polarizacemi na českém trhu (53dB), tak tyto výsledky byly očekávatelné. Na druhou stranu byly tyto antény nejvíce háklivé na sebemenší překážku. Čím blíže byla překážka umístěna, tím menší byla hodnota dB. To lze pozorovat v měření se čtvercovou překážkou. Také drátová anténa jako překážka způsobovala menší kolize, ale antény si s ní poradily

<sup>62</sup> Logaritmické veličiny pro popis přenosových řetězců. In: VODRÁŽKA, Jiří. *ČVUT: Katedra telekomunikační techniky* [online]. 2000 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [www.comtel.cz/files/download.php?id=79](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=79); DBm to mW Conversion rapid tables. In: *Rapid tables* [online]. 206 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://www.rapidtables.com/convert/power/dBm\\_to\\_mW.htm](http://www.rapidtables.com/convert/power/dBm_to_mW.htm)

celkem dobře. Přesto jsem ani v jednom případě slibovaných hodnot nedosáhl. Vinu tohoto kladu hlavně na prostor před anténou (okraj střechy, budovy atd.).

Průměr P izolace[dBm]							
Giga Sektor Duo		RocketDish 5630		Jirous JRC -24		Jirous JRC -24 č2	
H-RS V-AP	V-RS H-AP	H-RS V-AP	V-RS H-AP	H-RS V-AP	V-RS H-AP	H-RS V-AP	V-RS H-AP
-54,89	-56,00	-47,23	-48,55	-60,30	-65,44	-62,33	-62,89
Plech 0,5m od antény - na výšku		Plech 0,5m od antény - na výšku		Plech 0,5m od antény - na výšku		Plech 0,5m od antény - na výšku	
-49,74	-55,87	-47,77	-45,74	-40,47	-38,82	-36,25	-42,33
Plech 1m od antény - na výšku		Plech 1m od antény - na výšku		Plech 1m od antény - na výšku		Plech 1m od antény - na výšku	
-54,18	-59,26	-44,50	-41,93	-41,08	-54,05	-52,76	-43,67
Plech 0,5m od antény - na šířku		Plech 0,5m od antény - na šířku		Plech 0,5m od antény - na šířku		Plech 0,5m od antény - na šířku	
-52,52	-60,09	-38,68	-41,66	-33,79	-38,15	-43,90	-38,65
Drát - horizontálně		Drát - horizontálně		Drát - horizontálně		Drát - horizontálně	
-54,06	-59,48	-43,62	-47,03	-54,28	-56,1	-58,57	-55,79
Drát - úhlopříčně		Drát - úhlopříčně		Drát - úhlopříčně		Drát - úhlopříčně	
-51,71	-55,25	-46,44	-45,19	-46,38	-50,45	-52,87	-62,85

Obr. 3.3.3 Tabulka průměrné hodnoty  $P_2$

Průměrná izolace mezi polarizacemi[dB]							
Giga Sektor Duo		RocketDish 5630		Jirous JRC -24		Jirous JRC -24 č2	
H-RS V-AP	V-RS H-AP	H-RS V-AP	V-RS H-AP	H-RS V-AP	V-RS H-AP	H-RS V-AP	V-RS H-AP
27,10	28,21	19,44	20,76	32,51	37,65	34,54	35,10
Plech 0,5m od antény - na výšku		Plech 0,5m od antény - na výšku		Plech 0,5m od antény - na výšku		Plech 0,5m od antény - na výšku	
26,39	28,08	19,98	17,95	12,68	11,03	8,46	14,54
Plech 1m od antény - na výšku		Plech 1m od antény - na výšku		Plech 1m od antény - na výšku		Plech 1m od antény - na výšku	
26,39	31,47	16,71	14,14	6,00	26,26	28,21	15,88
Plech 0,5m od antény - na šířku		Plech 0,5m od antény - na šířku		Plech 0,5m od antény - na šířku		Plech 0,5m od antény - na šířku	
24,73	32,30	10,89	13,87	28,21	10,36	16,11	10,86
Drát - horizontálně		Drát - horizontálně		Drát - horizontálně		Drát - horizontálně	
26,27	31,69	15,83	19,24	26,49	28,31	30,78	28,00
Drát - úhlopříčně		Drát - úhlopříčně		Drát - úhlopříčně		Drát - úhlopříčně	
23,92	27,46	18,65	17,40	38,59	22,66	25,08	35,06

Obr. 3.3.4 Tabulka průměrné hodnoty izolace mezi polarizacemi

Sektorová anténa GIGASEKTOR nabízí dle výrobců o 5dB horší parametry polarizace než Jirous, což jsem ověřil v praxi. Opět s ohledem na překážky ve Fresnelově zóně, mohu říci, že se téměř rovnala anténě JRC – 24 s tím rozdílem, že se čtvercovou překážkou si poradila mnohem lépe, nejspíše díky svému vyzářování do sektoru.

Největší anténa ROCKETDISH dosahovala nejhorších hodnot z měřených kusů. Také z teoretického hlediska slibuje izolaci mezi polarizacemi „pouze“ 35 dB. Pokud se podíváme na předchozí antény, tak opravdu dosahuje o 10 dB méně, než GIGASEKTOR a o cca 15 dB méně než JIROUS antény.

Z celého pozorování můžeme tedy usoudit, že všechny antény měly pokles přibližně 15 dB oproti garanci výrobce. Takže kdyby Fresnelova zóna nebyla narušena, antény by mohly teoreticky dosáhnout hodnot, které udává výrobce, přičemž rozdíly mezi nimi by zůstávaly takové, jaké jsem naměřil při stejných podmínkách pro všechny antény.

Pro celou kapitolu je v příloze III. uvedena fotogalerie měření a v příloze IV. jsou uvedeny příklady grafů z jednotlivých měření.

### 3.4 Návrh realizace dalšího měření

Na závěr této kapitoly bych chtěl uvést okrajový popis další práce s duplexními anténami. Asi nejzajímavějším měřením by v budoucnu mohlo být měření s novým vektorovým článkem od firmy R&S. Bohužel, tento analyzátor byl dostupný jen pro maximální frekvenci 3 GHz. Proto by bylo zapotřebí sehnat duplexní antény, které pracují na pásmu 2,4 GHz. S analyzátozem se poté dá měřit hodnota  $S$  – parametrů. Také se, v tomto intuitivně ovládaném, přístroji dají lehce vytvořit Smithovy diagramy (komplexní diagram, znázorňující činitel odrazu a jeho závislost na impedanci).<sup>63</sup>

---

<sup>63</sup> Smithův diagram s parametrickými impedančními a admitančními parametry a impedančními. In: *Department of Electromagnetic Field* [online]. 2003 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: [http://en.elmag.org/lib/exe/fetch.php/wiki:user:pankrac:smithuv\\_diagram.pdf](http://en.elmag.org/lib/exe/fetch.php/wiki:user:pankrac:smithuv_diagram.pdf)

## 4. Závěr

Při měření impedančních parametrů i odchylky mezi konektory jsem kladl důraz na co nejmenší narušení zóny v blízkosti antény. I přesto se právě tato skutečnost stala největším „kamenem úrazu“ měření a nejvíce jej ovlivňovala. Důkaz tohoto tvrzení se nejlépe zpozoruje při měření s překážkou před anténou. Hlavně antény JRC – 24 měnily své hodnoty k horšímu při sebemenším náznaku vložení překážky do jejich vyzařovacího pole. Dokonce i při měření propustnosti mezi dipóly se při vysokém  $SWR$  zvyšovala hodnota výkonu, jež byl propuštěn skrze izolaci, což mě přivádí na myšlenku, zda by firma JIROUS neměla upravit konstrukci antény tak, aby zamezila pronikání stojaté (či vracející se) vlny do vedlejšího dipólu.

Také jediná sektorová anténa dělala velký problém při správném ustavení do co nejméně narušeného prostoru a i sebemenší překážka dokázala navýšit její hodnoty  $SWR$  i hodnoty dB při měření propustnosti mezi dipóly. Nejvíce se tak do zastavěných oblastí (pokud nezáleží na velikosti a typu antény) vyplatí použít anténu ROCKETDISH, která jako jediná neměla téměř žádné problémy s překážkami kolem a i když byla zastavěna hliníkovou překážkou, dokázal si s ní poradit nejlépe a hodnoty  $SWR$  byly nejstabilnější. Tato skutečnost mohla být také způsobena rozměry antény. Na druhou stranu izolace mezi dipóly byla mnohem horší než předchozí dva kusy a tak by mohla být náchylnější k rušení.

Pro budoucnost tohoto projektu bych doporučil (a při nejlepším se sám zúčastnil) například další práci s duplexní anténou na analyzátoru ESPI. Jelikož firma R&S brzy dodá měřicí můstky a sondy HZ-11 potřebné pro další měření (E a H parametry, impedance, admitance atd.), nebo například zlepšení dosavadních měření s překážkou (natáčení překážek, oddalování atd.). Dalším velmi zajímavým měřením by se mohlo stát měření pomocí vektorového analyzátoru, které jsem naznačil v poslední kapitole.

Z pohledu návaznosti na konkrétní práce z ročníku, mne napadla myšlenka, že diplomovou práci by se mi v budoucnu mohla stát například vlastní konstrukce duplexní antény a její následné měření.

Jako přínos své práce považuji jak teoretickou, tak praktickou část. U první části se jedná hlavně o skutečnost, že jak na českém internetu, tak v publikacích se nevyskytuje žádná ucelená zmínka o duplexních anténách, jejich vlastnostech a principech. Druhý, praktický přínos, shledávám v detailně popsaném měření některých parametrů duplexních antén, z nichž se dá jednoduše vytvořit učební látka pro studenty. Tím mám na mysli praktická měření duplexních

antén. Dalším přínosem je porovnání teoretických předpokladů s praktickými měřeními a v neposlední řadě také porovnání naměřených hodnot s hodnotami, udávanými výrobcí.

Přínos, pro mou vlastní osobu je také značný. Nejen, že jsem se naučil měřit s cenově nedostupnými přístroji, které by se mi jinak nedostaly do rukou (navíc například firma R&S má ovládání a funkce většiny měřících přístrojů na podobném principu), ale také jsem si mohl „osahat“ antény a probírat se problematikou v odvětví, které je pro mou osobu zajímavé.

Bakalářskou práci bych tedy zakončil symbolickou větou: „Při cestě z domova na univerzitu se už nedívám po stromech, lidech a panelových domech, ale vzhlížím výše, abych mohl pozorovat antény na jejich střechách.“

# Literatura

## Knižní publikace

- MATUSZCZYK, Jacek. *Antény prakticky*. 2. české vyd. Překlad Marek Michalek. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 239 s. ISBN 80-730-0109-8
- MAZÁNEK, Miloš, Pavel PECHAČ a Jan VRBA. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky*. 1.vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008, 103 s. ISBN 978-80-01-03997-7.
- PROCHÁZKA, Miroslav. *Antény: Encyklopedická příručka*. 3., rozšíř. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 287 s. ISBN 80-730-0166-7.
- RUKOVANSKÝ, Imrich a Oldřich KRATOCHVÍL. *Bezdrátové počítačové sítě*. Kunovice: Evropský polytechnický institut, 2007, 80 s. ISBN 978-80-7314-112-7.

## Internetové odkazy

- Datasheet: Rocket Dish. In: *Ubiquity* [online]. 2011 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd\\_ds\\_web.pdf](http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf)
- DVORSKÝ, Marek. *Antény I.: Principy funkce, základní parametry*. Ostrava, 2011, nepublikováno.
- EMI, EMC a odrušovací prvky: Přehled odrušovacích filtrů a jiných prvků proti EMC a EMI. In: *Hw.cz* [online]. 2. 7. 2001 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/soucastky/emi-emc-a-odrusovaci-prvky.html>
- GigaSektor Anténa Duo 15/120 5GHz. In: *Cyberbajt.cz* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.cyberbajt.cz/index.php?a=d&i=464>
- KONSTRUKCE SWR-metru. In: ULLMANN, František. *DUssoft computers* [online]. 1992-2011 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.dusoft.cz/PMR/SWR/SWR.htm>
- Logaritmické veličiny pro popis přenosových řetězců. In: VODRÁŽKA, Jiří. *ČVUT: Katedra telekomunikační techniky* [online]. 2000 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [www.comtel.cz/files/download.php?id=79](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=79)
- MĚŘENÍ POTLAČENÍ SIGNÁLU PŘI OPAČNÉ POLARIZACI V DUPLEXNÍ ANTÉNĚ . In: *Katedra elektrotechniky - 420* [online]. 1.2.2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/fei/sireni\\_vln/mereni/mereni\\_potlaceni\\_signalu\\_pri\\_opacne\\_polarizaci.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/fei/sireni_vln/mereni/mereni_potlaceni_signalu_pri_opacne_polarizaci.pdf)

- Operating manual: EMI test Receiver. In: *Rohde & Schwarz* [online]. 2006 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://www.rohde-schwarz.cz/file\\_3575/espi\\_02e.pdf](http://www.rohde-schwarz.cz/file_3575/espi_02e.pdf)
- Parabolická anténa JRC-24 DupLEX. In: JIRUS, Jan. *WiFi antény* [online]. 12.01.2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://cz.jirous.com/anteny-5ghz/jrc-24-duplex>
- Power and Return loss monitor DMU: monitor výkonu a útlumu odrazu DMU. In: *DCom* [online]. 2007 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://www.wifi-obchod.cz/index.php?page=shop.getfile&file\\_id=328&product\\_id=168&option=com\\_virtuemart&Itemid=70](http://www.wifi-obchod.cz/index.php?page=shop.getfile&file_id=328&product_id=168&option=com_virtuemart&Itemid=70)
- Přenos WiFi z pohledu zdroje a spotřebiče. In: PLHAL, Pavel. *Telefon.unas.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://telefon.unas.cz/wifi.htm>
- Radiolokatory.cz [online]. 2009-05-10 [cit. 2011-10-30]. Dostupné z WWW: <http://www.radiolokatory.cz/teorie/anteny.html>
- Seznam WiFi kanálů pro WLAN. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://wiki.airdump.cz/Seznam\\_WiFi\\_kan%C3%A1l%C5%AF\\_pro\\_WLAN](http://wiki.airdump.cz/Seznam_WiFi_kan%C3%A1l%C5%AF_pro_WLAN)
- SKAUFEL, Daniel. *Dual polarized Omnidirectional Antenna* [online]. Stockholm, Sweden : School of Electrical Engineering, 2005. 44 s. Diplomová práce. KTH School of Electrical Engineering. Dostupné z WWW: <https://eeweb01.ee.kth.se/upload/publications/reports/2005/IR-S3-EX-0523.pdf>
- Slovník pojmů: Drátový dipól. In: RAIDA, Zbyněk. *Multimediální učebnice* [online]. 2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def&src=dratovy\\_dipol&bck=5-1-A&menu=on](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def&src=dratovy_dipol&bck=5-1-A&menu=on)
- Slovník pojmů: Koeficient odrazu, koeficient prostupu. In: RAIDA, Zbyněk. *Multimediální učebnice* [online]. 2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def&src=koeficient\\_odrazu&bck=2-5-A](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.php?nav=def&src=koeficient_odrazu&bck=2-5-A)
- Test Receiver R&S® ESPI: The precompliance standard up to 7 GHz. In: *Rohde & Schwarz* [online]. 1997, 2009 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: [http://www.rohde-schwarz.cz/file\\_14199/ESPI\\_dat\\_en.pdf](http://www.rohde-schwarz.cz/file_14199/ESPI_dat_en.pdf)
- Vlastnosti přijímacích antén pro VKV. In: *Elektronika: Teoretické základy, praktická zapojení* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://elnika.sweb.cz/radia/vlast\\_yagi.html](http://elnika.sweb.cz/radia/vlast_yagi.html)

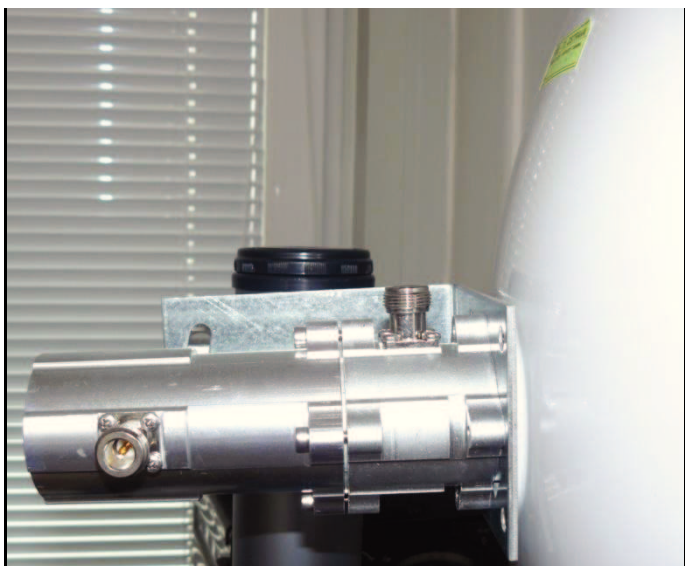


- Wi-Fi. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- WLA-5000AP v3: 802.11a/b/g Multi-funkční bezdrátový Access Point. In: *AirLive®* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://cz.airlive.com/product/WLA-5000AP\\_v3](http://cz.airlive.com/product/WLA-5000AP_v3)
- WLA-5000AP: 108Mbps 802.11a/b/g Access Poin. In: *AirLive®* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://fs.airlive.com/manual/AirLive\\_WLA-5000AP\\_QSG.pdf](http://fs.airlive.com/manual/AirLive_WLA-5000AP_QSG.pdf)
- Zabezpečení bezdrátových sítí WiFi (IEEE 802.11b, g). *Automa* [online]. 2004, č. 10 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32563](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32563)
- Zdroj: BERNKOPF, Jan. FEMTO BUŇKY V MOBILNÍCH SÍTÍCH NOVÝCH GENERACÍ [online]. Brno: FEKT VUT, 2010. 34 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=37994](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37994)
- Smithův diagram s parametrickými impedančními a admitančními parametry a impedančními. In: *Department of Electromagnetic Field* [online]. 2003 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: [http://en.elmag.org/lib/exe/fetch.php/wiki:user:pankrac:smithuv\\_diagram.pdf](http://en.elmag.org/lib/exe/fetch.php/wiki:user:pankrac:smithuv_diagram.pdf)

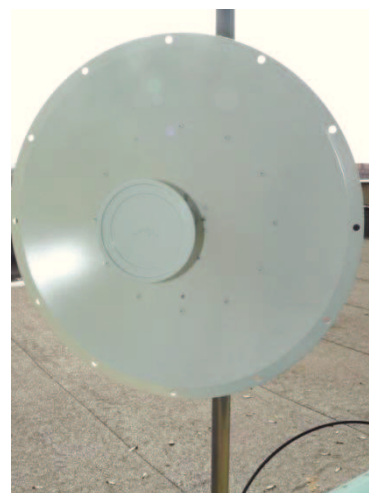
## Seznam příloh

Příloha I.	Fotogalerie měření – seznámení s jednotlivými prvky
Příloha II.	Fotogalerie měření – měření č. 1
Příloha III.	Fotogalerie měření – měření č. 2
Příloha IV.	Grafy měření propustnosti mezi dvěma dipóly

## Příloha I.



*Zleva: dva konektory duplexní antény a redukce konektorů pro anténu ROCKETDISH a AP.*



*Směrové měřené antény (zleva: JIROUS JRC – 24 DuplEX a ROCKETDISH RD – 5G30)*



*Zdroj vlny a měřicí přístroje (zleva: AirLive WLA – 5000AP + DMU spojeny speciálními měřicími kabely od firmy DCOM a R&S ESPI 7)*



*Překážky (zleva: plechová překážka a prutová anténa)*

## Příloha II:



*Zleva: připravená, zatím nezapojená, anténa pro měření a připravený DMU – měřič výkonu a útlumu odrazu.*



### Příloha č. III:

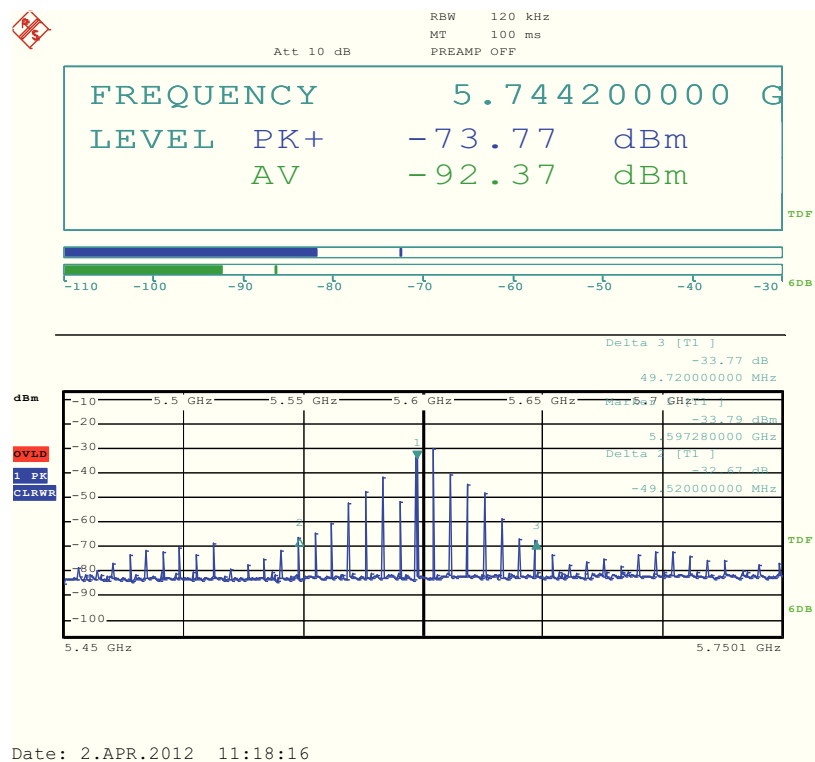


*Měřena jedna z antén JRC – 24 DuplEX*

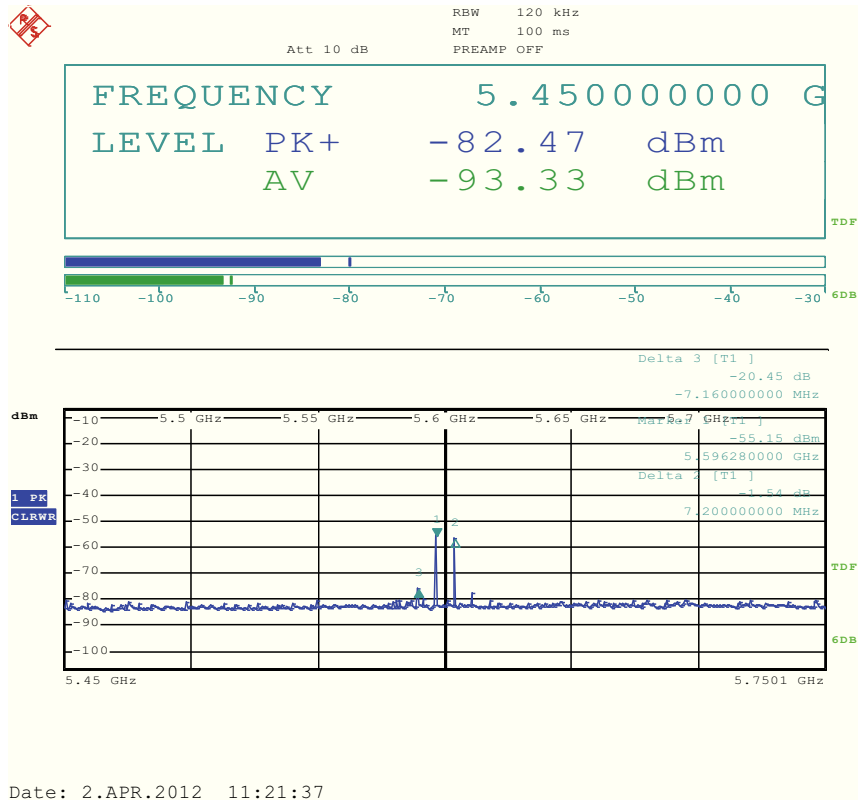


*Připravena k měření propustnosti mezi dipóly, zatím nezapojená, anténa GIGASEKTOR DUO*

## Příloha č. IV:



*Signál AP ve frekvenčním pásmu antény GIGASEKTOR*

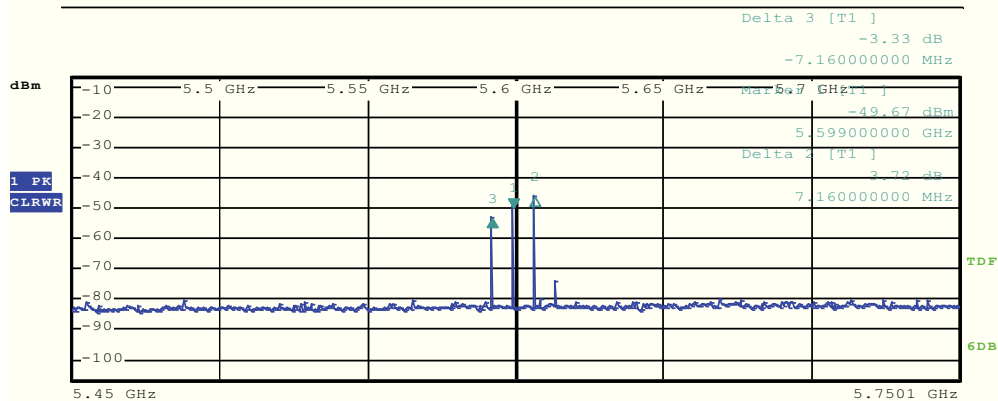
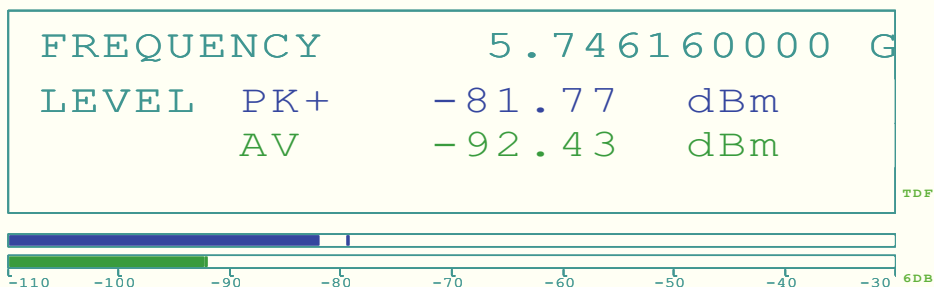


*Signál propuštěný přes izolaci mezi dipóly v anténě GIGASEKTOR*



Att 10 dB

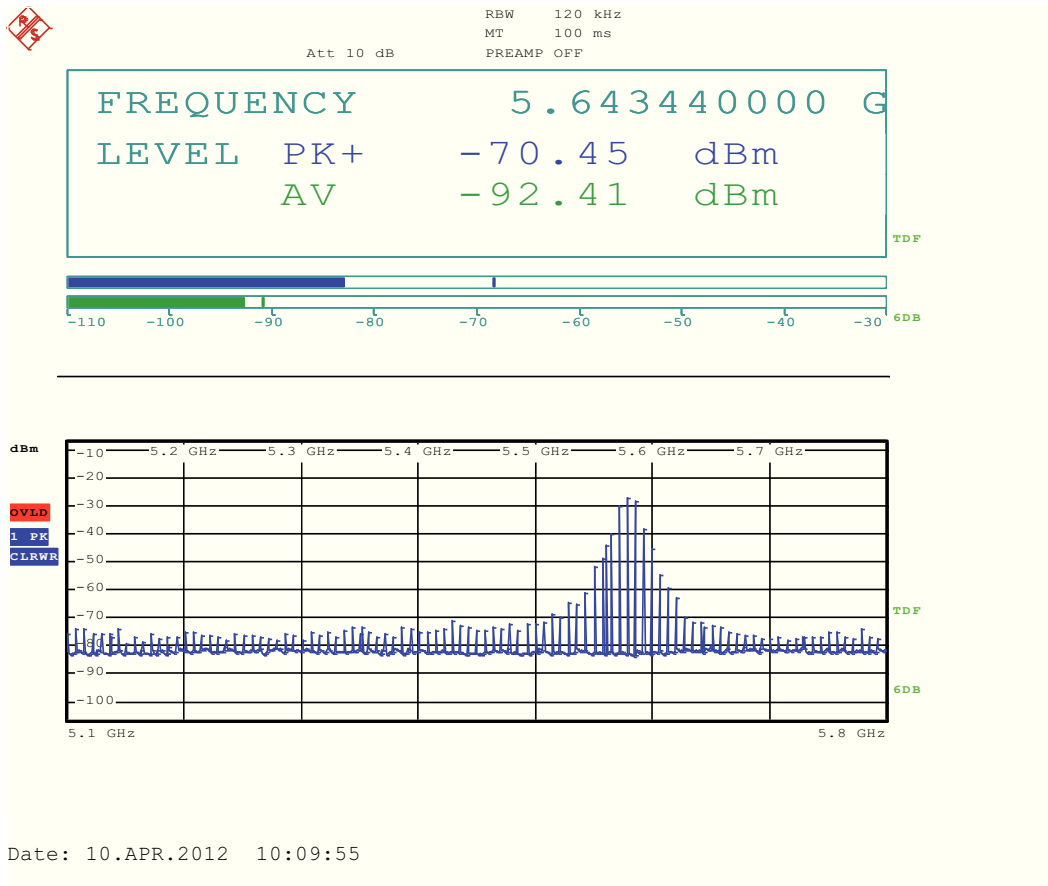
RBW 120 kHz  
MT 100 ms  
PREAMP OFF



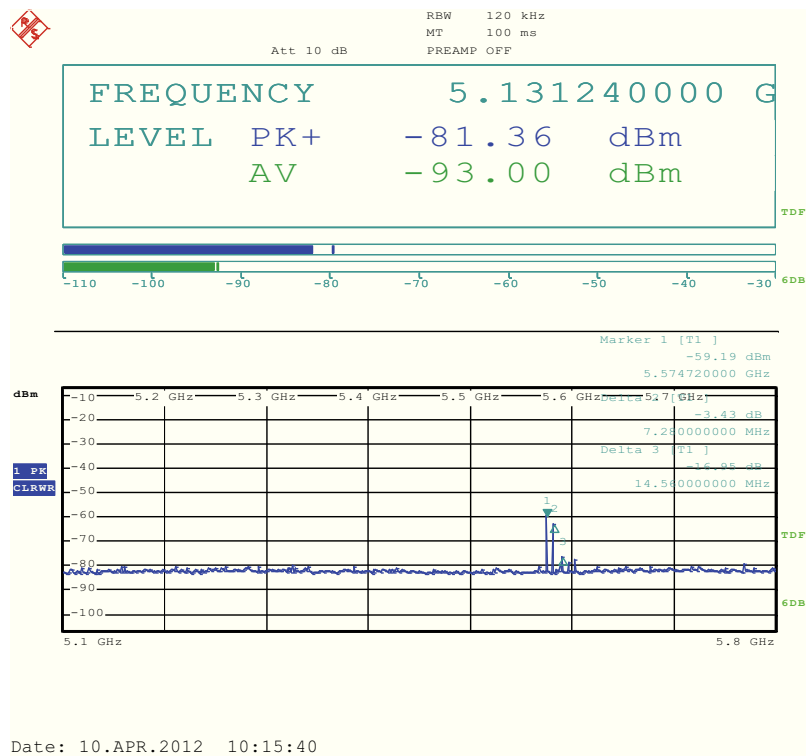
Date: 2.APR.2012 11:27:36

Signál propuštěný přes izolaci mezi dipóly v anténě GIGASEKTOR s překážkou (plechová deska)

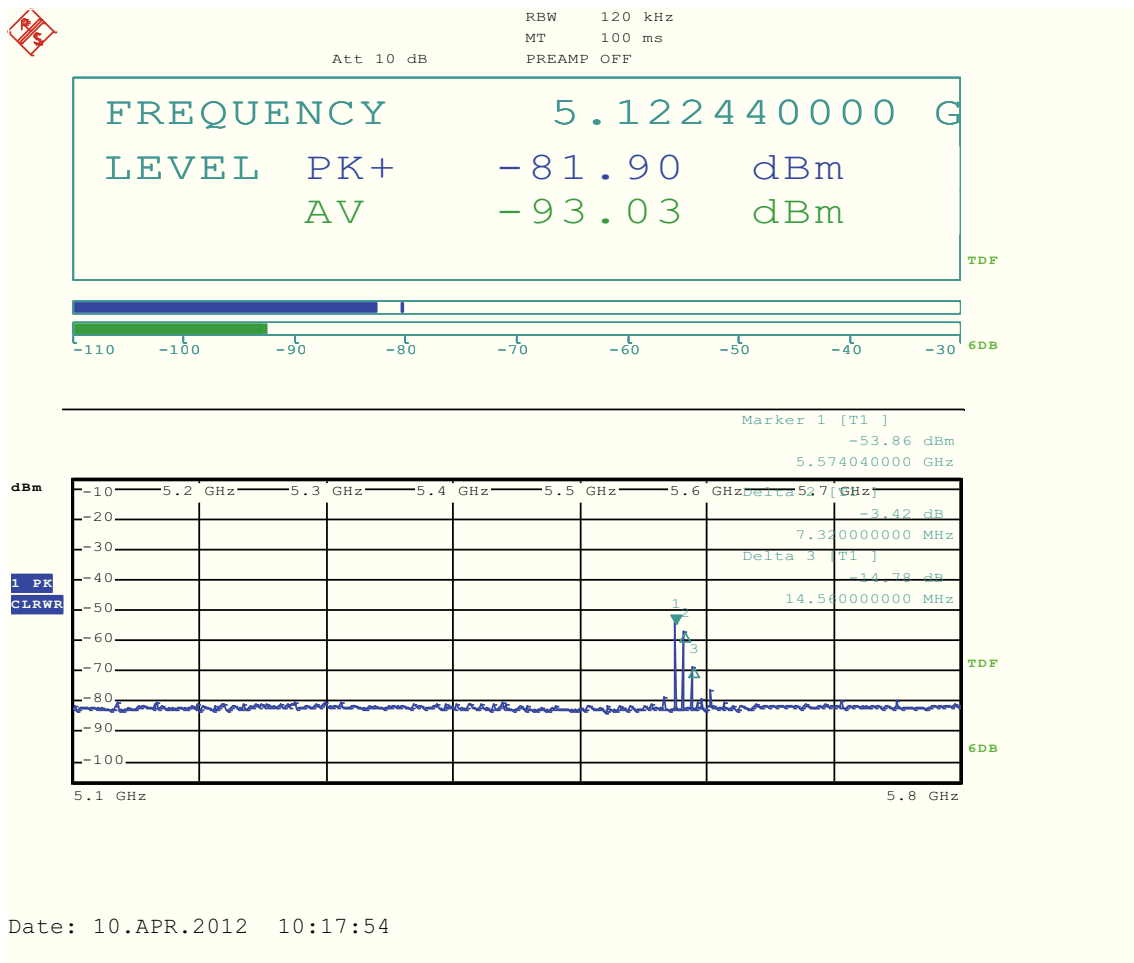




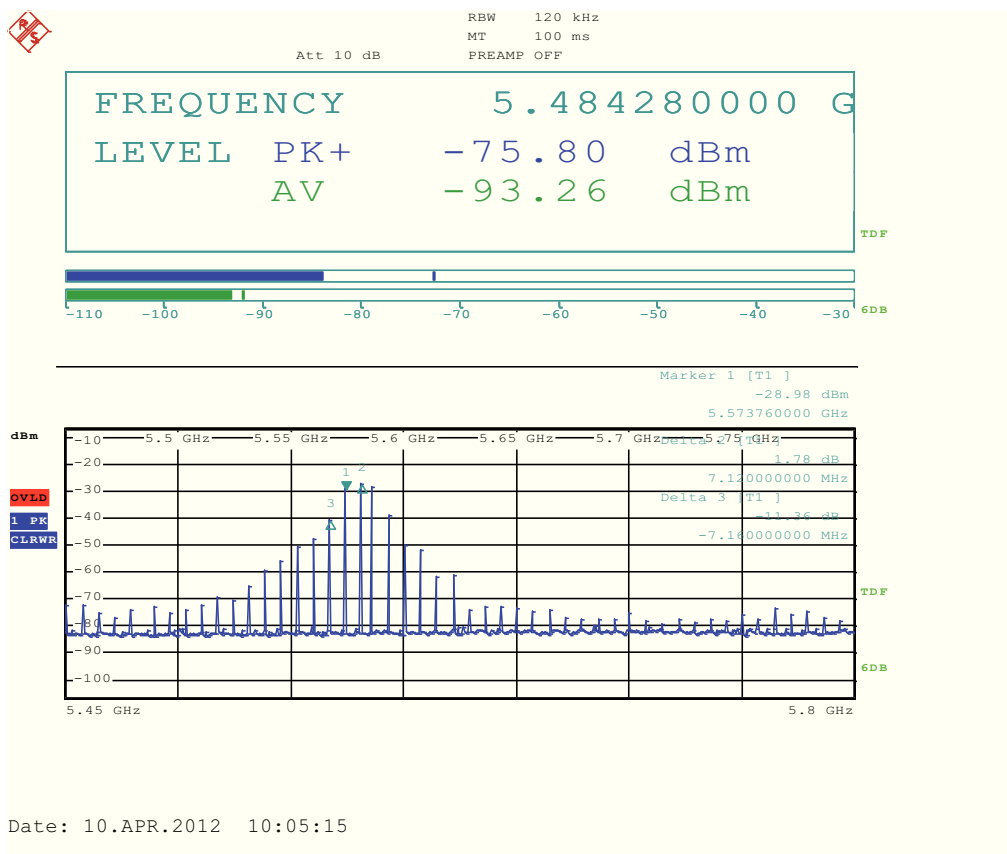
Signál AP ve frekvenčním pásmu antény ROCKETDISH.



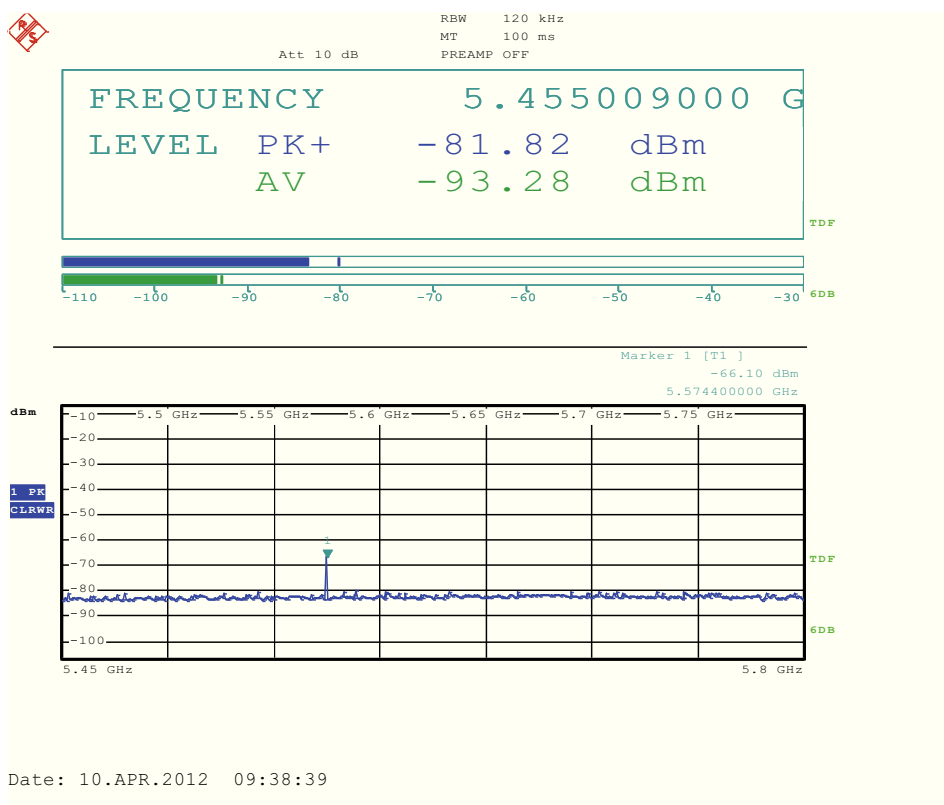
Signál propuštěný přes izolaci mezi dipóly v anténě ROCKETDISH



*Signál propuštěný přes izolaci mezi dipóly v anténě ROCKETDISH s překážkou (plechová deska)*



Signál AP ve frekvenčním pásmu antény JRC – 24 DupLEX



Signál propuštěný přes izolaci mezi dipóly v anténě JRC -24 DupLEX

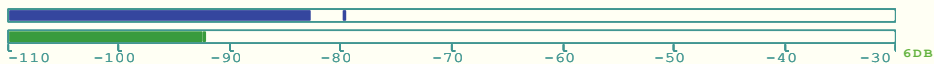


Att 10 dB

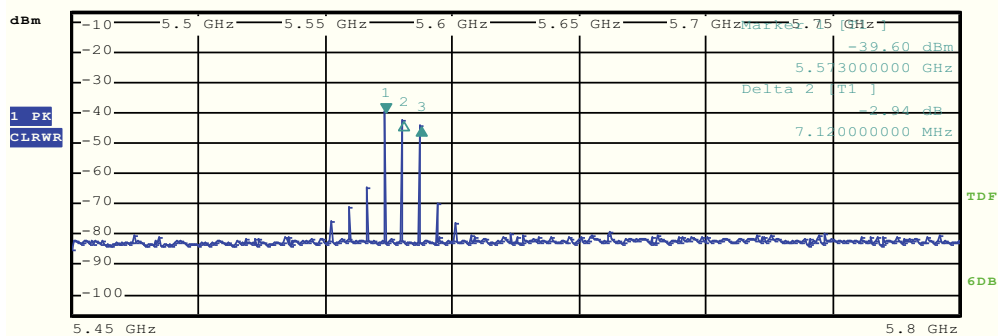
RBW 120 kHz  
MT 100 ms  
PREAMP OFF

FREQUENCY	5.791000000	GHz
LEVEL PK+	-81.04	dBm
AV	-92.59	dBm

TDF



Delta 3 [T1 ]  
-4.47 dB  
14.000000000 MHz



Date: 10.APR.2012 09:48:39

Signál propuštěný přes izolaci mezi dipóly v anténě JRC – 24 Duplex s překážkou (plechová deska)